

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-508838

(43) 公表日 平成8年(1996)9月17日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I
G 0 6 F 17/50		9191-5H	G 0 6 F 15/60 6 1 2 H
17/13		9364-5L	15/347 K
17/16		9364-5L	15/328

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求(全 93 頁)

(21) 出願番号 特願平7-502617  
(86) (22) 出願日 平成6年(1994)6月21日  
(85) 翻訳文提出日 平成7年(1995)2月13日  
(86) 国際出願番号 P C T / I B 9 4 / 0 0 1 6 7  
(87) 国際公開番号 W O 9 5 / 0 0 9 1 5  
(87) 国際公開日 平成7年(1995)1月5日

(71) 出願人 小佐野 峰忠  
東京都狛江市和泉本町2-16-12  
(71) 出願人 株式会社オセアノート  
東京都港区赤坂9-6-41  
(71) 出願人 カールソン, デイビッド ヴィ.  
アメリカ合衆国ワシントン州98072, ウッ  
ドインヴィル市, ノース・イースト, 153  
番ストリート, 16211番  
(72) 発明者 小佐野 峰忠  
東京都狛江市和泉本町2-16-12  
(74) 代理人 株式会社オセアノート

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有限要素法の新しい解析法及び解析器

(57) 【要約】

有限要素モデルと偏微分方程式による解析と処理システムのための方法と装置を提供する。装置は並列処理とモデルの部品への分割の能力を含む。方法はメモリまたはデータベースに記憶された部品から組み立てられるモデルを可能とする。モデルは分けられた部分システムのパッケージのインターフェースを通して組合わせて形成される。システムは一度に完全なモデルに関するデータを必要としない。この解析は処理時間と記憶容量の削減を実現させる。

## 【特許請求の範囲】

1 請求：

1. 有限要素モデリング、又は偏微分モデリングのための分割法に基づく端子部品システム（TPS）を適用された線形システムによって、物理的又は生産物システムを分析するための装置

モデリングシステムを入力部品の分割数と形の情報データを受け取る入力装置

モデリングシステムを情報データによつての部品数に分割する部品生成装置

各部品のためのソルバー（a）

解析物にノード群を配置し、それらを解析するための一つのノードを選び、k 番めのノードとして番号をつけるノード生成ブロック

選ばれた k ノードに関係する全ての要素だけを、形データの設計よて解析物をから分けることにより生成しそれらの要素に番号付けをおこなう要素生成ブロック

上で生成された要素群から要素方程式を生成する要素方程式生成ブロック

集めるとは、選ばれたノードに関係する要素方程式を集めることである。

集められた要素方程式を格納する記憶ブロック

k ノードにおけるノード方程式を、記憶ブロックの中の要素方程式からこの k ノードに関する要素方程式だけを選びだすことにより生成するブロック

k ノードに関してのノード方程式と境界条件により PSS 基本式として整理する PSS 形成ブロック

PSS 決定ブロック

PSS 基本式を格納する記憶ブロック

k ノードが最後のノードであるかを判定する判定ブロック

各処理部品を解析するソルバー（b）装置

各部品に対してインターフェイス端子部品を生成する装置

類似の部品群を一つのパッケージとして生成するための装置

パッケージからインターフェイス端子部品を生成する装置

分割する前のシステムを表すシステム方程式を作るためにインターフェイス端子部品を組み立てるためのソルバー（c）装置

各処理部品を解析するためのソルバー（d）装置

インターフェイス端子ノードの状態を決定し、後世代入技術によって全てのノードの状態を決定する装置

各処理部品のPSS基本式を格納する記憶装置

得られたシミュレーション結果を表示するための表示装置

2. 請求1の装置は、物理的または生産されたシステムを線形方程式または非線形方程式によって解析するための装置を言い、動的なシステムまたは時間依存システムに端子部品システム(TPS)、有限要素モデリングまたは変微分モデリングに適用することによって操作することを含む

3. 請求1の装置は、さらに非線形システムに対してその解が予め決めておいた誤差範囲になるまでの繰り返し処理装置を含む、また非ゼロ要素または非ゼロな帯状対角要素をもつ大規模行列を解くための装置をも含む

4. 請求1は、各処理部品の並列処理をおこなう装置をも含む

5. 有限要素モデリング、または変微分モデリングによって、物理的又は生産物システムを分析するための方法、これは各ステップで構成される:

- (a) モデリングシステムを部品に分割する数と形の情報データを入力する
- (b) 情報データによってモデリングシステムを分割し、部品を生成する
- (c) 入力データの情報によって解析されるシステムのノードを配列する
- (d) 配列されたノードに番号を付ける
- (e) 解析するノードとしてkノードを選ぶ、ただし、kは最初に選ばれたノードは1とし、続いてのノードは増加してゆく
- (f) モデリングシステムデータ内の選択されたk番めのノードに関係する要素だけを生成する
- (g) 生成された要素の番号づけ
- (h) 生成された全ての要素に対し変微分方程式に基づく要素方程式の生成
- (i) 要素方程式をメモリーに格納する
- (j) メモリーの中に格納された要素方程式からkノードに関するノード方程式を要素方程式だけを選びだすことによりノード方程式を生成する

- (k) ノード方程式と境界条件により P S S 基本式を形成する
  - (l) P S S 基本式の解を求める
  - (m) P S S 基本式の解をメモリーに入れる
  - (n) もし、k ノードが最後でないとステップ (b) にもどり、(b) から (m) まで k が最後の番号まで繰り返す、その結果シミュレーション過程が終わり、解析した結果を出力するなどの条件によって選択する処理状態を判定する
  - (o) 解析物を分割し端子部品を生成する
  - (p) ソルバー (b) により端子部品からインターフェイス端子部品を生成する
  - (q) 類似部品を集めることによりパッケージを生成する
  - (r) パッケージからインターフェイス端子部品を生成する
  - (s) ソルバー (c) によってインターフェイス端子部品を組合わせて元のシステムを復元する
  - (t) インターフェイス端子部品のノードを決定し、次いで各部品の全てのノード状態を後退代入により決める
  - (u) 各処理部品の P S S 基本式をメモリーに格納する
  - (v) 物理システムの物理的特徴を出力する
6. 請求5によって記載した方法は、モデリングシステムを分割する過程で、物理的に類似のものは同じグループ部品として生成する部品生成過程を含む
7. 請求5の中で記載した方法は、さらに以下の過程をも含む：端子部品が3種類のベクトル変数群で構成されている部品のための P S S 基本式を生成する、他の部品のインターフェイス・ノードと独立している内部変数群、インターフェイス端子変数群と他の部品のインターフェイスノードと結合される外部端子変数群と直接結び付ける内部端子変数群を含む；そしてまた端子部品からインターフェイス端子無しの部品の生成のために、インターフェイス端子部品の生成を含む端子部品生成を含む
8. 請求7に記載した方法は、さらに並列処理と並列的に端子部品を生成する生成手法を含む
9. 請求7に記載した方法は、以下に示す処理によりインターフェイス端子部品

生成をおこなう：インターフェイス端子部品のために、PSS基本式の未決定変数から外部端子変数を、PSSの決定された変数から内部端子変数を選択する：インターフェイス端子部品の内部端子変数と外部端子変数間の関係を求める：そして境界条件による定数ベクトルをも含む

10. 請求9の中で要求した方法は以下に示す処理によってパッケージ部品生成を含む：各部品が互いに構造的に類似性をもつどうかを調べ、類似の部品を1つのパッケージ部品としてグルーピングし、このグルーピングされた部品群の中で僅かに異なるノードや境界状態を類似部品の調整用として新しいノードをパッケージに加える：請求5の(d)と(q)の繰り返し過程：端子部品が三種類のベクトル変数群、他の部品のインターフェイス・ノードから独立である内部変数グループ、インターフェイス端子変数と直接的に結合している内部端子変数グループベクトルと他の部品のインターフェイス・ノードと結合された外部端子変数群ベクトルである：インターフェイス端子部品の生成：とパッケージのメモリーへの記憶

11. 請求7の記述された方法は、パッケージの中に類似の部品群に調整可能な変数を固定値として設定することによりパッケージから端子部品を生成することを含む

12. 請求7の記述された方法は元のシステムを復元するためにインタフェース端子部品を組み立てる処理過程を含む：i番の部品の内部端子と他のj番の外部端子とをインタフェース端子を通して結び付ける；i番の部品の外部端子とj番の部品の内部端子を互いにインタフェース端子を通して結び付ける；PSS技術を用いて結合された端子群に関する変数だけを決定する；そしてi番とj番インターフェイス部品を結合による新しいインターフェイス端子部品を生成する。

13. 請求12の記述による方法は、新たなインターフェイス端子部品を順番に生成する過程を含む

14. 請求12の記述による方法は、並列処理によって実行される新しいインターフェイス端子部品の生成過程を含む

15. 請求12の記述による方法は、階層型処理によって新たに生成されるイン

ターフェイス部品の生成処理を含む

16. 請求7の記述による方法は、後退代入処理を通して決定された外部端子変数ベクトルをインタフェース端子部品の外部変数に代入し決定した外部ベクトルを各部品のPSS基本式の対応する変数に代入する各部品の内部変数ベクトルを決定する過程を含む

17. 請求5の記述による方法は以下の処理による部品の生成過程を含む：部品は互いに分離され独立に生成される；生成された部品をメモリーに記憶または部品のデータベースとしてメモリーデスクに記憶する；そして処理時間の消費なしで記憶装置から直接部品を呼び出す

18. 請求1と異なった沢山の物理システムを統合することによる複合システムを分析することができる装置を含む

19. 請求18は、構造体、流体システム、力学システムや電気システムなどから選ばれた複数の異なった複合システムを含む

20. 請求18は非線形解析、過渡現象解析、動的現象解析、時間領域解析や相関解析などを解析する手法の一つとして用いられる有限要素モデリングあるいは偏微分方程式を含む

## 【発明の詳細な説明】

有限要素の新しい解析法及び解析器

## 【産業上の利用分野】

本発明は、変微分方程式を解くための分割法とその装置、また、並列やトポロジック処理により線形システムを解くための分割手法を用いた物理現象を解析するための有限要素モデルに関する。

## 【従来の技術】

従来の機構においては、弾性構造、熱伝導、熱変換、流体移動、電磁流体解析のような物理現象を計算機上で数値的に解析を行うには、物理系を変微分方程式で表し数値解析をおこなう有限要素法（FEM）が、最も幅広い計算機志向の工学的ツールである。

大規模計算機特にスーパーコンピュータの発展により、有限要素法は、大規模構造やシステムの現象を解析するためには非常に有効的な技術と成っており、その応用範囲は増大し続けている。FEMは、先ず始めに構造解析として用いられたが、今日では生産システムや物理システムのような多くのシステムの設計と解析に用いいられている。

有限解析法においては、一つの解析システムは、多くのノードによって構成される数値的要素群により構成されていると仮定する。そして、これらの要素は同時方程式のよって表され、それを解くことにより解析される。この同時方程式によて表されるシステムは、要素数が増大するにしたがい、計算時間や記憶容量が増大する。数学的な主要の研究は、この記憶の要求を減少させることであつたが、彼等の努力にもかかわらず、現在まではこれらの要求に答えることができないでた。2次元又は3次元領域でのFEMの解析においても、メッシュまたは要素と呼ばれる小さな領域に分割され、しかも、変微分方程式の線形近似方程式が境界を規定する点（節点）に割り振られた変数の関係として表される。例えば、各節点に対する関係を表す線形方程式を用いて、一つの要素は以下に示す離散

化方程式（例えば弾性解析においては、この式を釣合の式と呼ぶ）によて表さ

れる。

$$[Kq] \cdot [uq] = [fq] \quad (1)$$

ただし、記号  $q$  は、 $q$  番目の要素を示し ( $q = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  はシステムに含まれる全要素数を示す)、また、 $[Kq]$  は定数行列、 $[fq]$  は各節点での境界条件により得られる定数ベクトル、 $[uq]$  は未知変数ベクトルを示す。

次に、解析対象物の全系の離散化方程式は、このように求めた各要素に対する離散化方程式の関係をまとめて、以下に示す (2) 式として表される。

$$[K] \cdot [u] = [f] \quad (2)$$

ここで  $[K]$  は定数行列、 $[f]$  は定数ベクトルであり  $[u]$  は未知変数ベクトルである。(2) 式の解は、行列  $[K]$  の逆行列  $[K]^{-1}$  を求めることにより未知変数ベクトル  $[u]$  に関して解くことが出来る。この解は物理現象の解析結果を与えることになる。

FEM技術の中で解くことを必要とする離散化方程式は、しばしば大規模で複雑な構造となり、計算機で処理を行うには計算機のメモリー容量や処理回数の制約により大きな規模の定数行列  $[K]$  を解くことが困難となる。

しかしながら、この大規模な  $[K]$  行列は、行列を構成する要素のなかで、非ゼロの要素が全体の要素に比べ少ないスパース行列だり、更に、非ゼロ要素が行列の対角上に帯状の構成となる帯状対角行列を構成している。

これらの構造の行列を解くため多くの方法やシステムがFEMの応用の過程で提案されてきている。それらは、大別すると二つの方向(直接法と反復法)に分類される。

直接法は離散化方程式の解を直接的に求める解析手法であり、計算誤差内で有限回の演算で正しい解が得られることが保証されるが、直接法は場合によっては有限回の繰り返し処理では解を得られないことがある。それゆえに、一般的には直接法が離散化方程式の解法に適しているものとして、離散型方程式の非ゼロ要素のスパース性を考慮したガウス消去法、LU分解法、行列  $[K]$  の帯行列を用

いたコレスキー・バンドマトリックス法やスカイライン法、解析対象物の幾つかの部分に分割して扱うウェーブ・フロント法やサブストラクチャー(領域分割)



法などが提案された。

2つ目の反復法は、初期値を与えて繰り返し処理により近似的に正確な解に近づけることにより求める手法である。この方法の手法としては、共役勾配法が上げられる。この反復手法は、繰り返しにより近似解に近い近似解を求める手法であり、ある回数で解を得る保証がない。

直接法は、従来のノーマン型計算機を用いて、逐次的な処理により線形システムの解析器として用いられ、高速と処理削減をはかるべく研究がなされてきたのであるが、最近の研究は、益々増大化する行列 $[K]$ と高速化処理の要求により、並列計算機を用いた並列処理により、処理速度と処理領域の削減をはかる方向に進み始めた。その視野から領域分割法が、直接法としてだけでなく反復法における並列計算として有効な手法として注目されはじめた。

最近並列処理に適した二つの手法が提案された。1つは解析的な手法であり、C.FarhatとE.Wilsonによる並列構造法であり、もう一つは領域分割法と呼ばれる反復法である。並列構造法は、スパース行列構造の特徴を利用している。即ち、行列は、分割した部分領域で表される対角ブロックとその部分領域間の関係を表わす縁ブロックの2つの構造(BBD行列と呼ぶ)で表わすことができることにより、各対角ブロックは並列的に個別にFEMの処理が可能となり、直接法によると個別に処理された各部分領域ブロックが結合部ブロックに等価的に縮約され、この縮約された行列を処理することにより正確な解を得ることができる。

領域分割法は、2種類の手法を用いた反復分散処理手法である。それは各対角ブロックに対してはノーマル方向法を、また結合部ブロックには共役勾配法が用いられる。即ち、個別に処理された各部分領域ブロックが個々の部分領域の結合の境界条件の整合を共役勾配法等のより反復処理によりおこなわせることで正確な解に近づけることにより、解析全体として各部分領域が並列的・分散的に処理を行うことを可能としている。しかし、解析対象物の規模が増大し要素数も増すと、計算処理が大幅な時間がかかるのみならず巨大な記憶容量を有する中型以上のコンピュータが必要となること、また部分領域が増大すると、その接合ブロックによる行列の規模や反復処理回数も増大し、解を得ることが困難となる等、巨

大システムの解析は、従来の種々の手法により行なうことが困難であった。

また、行列  $[K]$  の構造を非ゼロ要素による最小対角バンド幅構造や対角要素を除き最大ゼロ要素対角バンド幅構造を生成し、これをもちいてガウス消去法により、並列またはパイプライン・プロセッサを用いた並列マルチプロセッサ・アーキテクチャを実現するための種々の方法も幾つか提供されている。これらの方法も構造に大きく依存し、従来の方法におけると同様に問題が生じている。

#### 【発明の概要】

本発明の目的は、物理システムを解析するための有限要素法 (FEM) に基づく有効的な方法とその装置を提供することにある。

新しく提供する技術は、有限要素法を用いて解析するために必要とするメモリー容量や計算処理問題を有効的に減少させる。

提供する発明は、ON法を有限要素法に適用することにある。このON法は、線形システム解析において、システム全体の知識を必要せずに任意の知識だけでシステムを解く新しい手法である。この新しい手法を有限要素法の一部に用いる。

この適用は、現在用いられている有限要素法の解析技術と異なったものとなる。

この違いは、既存の技術では、先ず境界条件を設定しシステム全体の方程式を求め、この方程式を解く手順となっているが、ON法による技術は、各部分要素群の数学的なモデルを作成し、それらの境界条件を設定し、部分要素群の状態を決めていく手順となっていることにある。ON法は、一連のPartially solved system (PSS) を生成しながら解法していく。

最初のPSSは、N次元線形方程式の最初の線形式の中から解かれた変数を抽出して等号記号の左側に置き、解かれていない変数と定数を右側に置くことにより得られる。次に、i番目のPSSは、N次元線形方程式の中からトポロジ的に任意のi番目の線形方程式が選ばれ、この方程式に対して、既に抽出された解かれた変数群と定数を(i-1)番目のPSSの左側に、解かれていない変数群を(i-1)番目のPSSの右側に加えることにより得られる。この過程の最後は、線形方程式の全ての変数は解かれてしまう結果、最後のPSSは右側の解かれていない変数は存在しない。それゆえにN番目のPSSはシステムの全ての解を与える。PSSの中で左側の解かれた変数を内部変数、又左側の解かれていない変

数を外

部変数と呼ぶON法は、N次元線形方程式で表される物理システムを解析装置に代入することにより実行される。

システムの解を求めた後は、制御パラメータ（PSSの外部変数）を物理的な値として与えることにより、物理システムを制御することができる。これは、一般的に線形方程式のシステム解が物理システムの動作条件を決めるのに用いられることによる。

最初のPSSを求める前に、最後のPSSを得るまでに必要とされる時間を減少されるために、線形方程式の生成において構成する変数のPSSの選択順番を計算処理最小になるようなオーダリングをおこなうことができる。更に、PSSの形を上三角実行形で行うことも、全体のPSS処理速度の削減となる。

複雑な物理システムは、非常に大きな規模の線形方程式によって、モデリングされることが一般に行われる。これら複雑なモデリングのためには、コンピュータの処理容量や処理時間の制約を受ける。ところが、ON法は如何成る時もシステム全体の知識（関係）を必要としないので、ON法にシステムの分割手段を持たせることで、極端に複雑で大規模な物理システムをも従来の計算機での制約内で扱うことが可能となる。物理システムのモデリングのなかで、物理システムは、幾つもの部分システムに分割することは可能であり、また、分割した方が扱いやすい。それ故に、ON法をこの分割された各部分システムに対し適用する。最終的に得られた各部分システムの最後のPSSは、外部変数が存在し、その外部変数は、他の部分システムの内部変数として求まる。そこで、全ての部分システムの外部変数に対し、これらの外部変数で構成される内部変数で作られるPSSの関係式を抽出し、これらにより、構成された第二システムを形成する。この第二システムに対して、ON法を適用し、第二PSSを求める。これにより外部変数だけのPSSを構成することができる。この最後のPSSには、この第二システムでの外部変数を含まない。又第二システムも幾つかの部分システムに分れて扱うことができ、第二システムの部分システム化がなされたときは、第一システムと同様に各部分システムに対して、PSSを形成することができ、この各部分シ

システムに対する外部変数を用いて、各PSSの内部変数から、この外部変数に対応した式を抽出して、新しい第三システムを生成することができる。この様に各システムに対し、外部変数に関する新しいシステムを次々に生成して行くことができる。最後のシステムのPSSには外部変数は含まれない。それ故に、この最後のPSSは解かれたシステムとなる。この解かれた最後のシステムのPSSの内部変数を、その前に生成されたシステムの外部変数に代入することで、代入されたシステムは解かれたシステムとなる。この過程を第一のシステムまで繰り返す行うことで、物理システムの全ての変数は解かれたことになる。更に部分システムに分割する前又は後に、処理速度減少の最適に成るように、外部変数のPSS構成の順番を決めることをもこのシステム分割処理の大切な過程として含む。

この手法は最規模な線形方程式として表されるシステムに有効的に適用することができ、特に有限要素法への適用が有効的である。より具体的に表現すると、この提供する発明は、この分割技術を用いており、複雑なシステムをより簡単な部分システム群として表すことが可能となる。

ON法を適用しての分割法が複雑な物理システムに適用された時は、システムは幾つかの部分システム群、これらを部品（パーツ）と呼ぶ、に分割される。ON法が各部品に適用され、最終的にPSSが生成される。このPSSの左側の解かれた変数群（これらを内部ノードと呼ぶ）と右側の解かれない変数群（これらを外部端子ノードと呼ぶ）によれ構成されている。別の視野からみると、この部品の内部ノードの中の幾つかのノードは、他の幾つかの部品の外部ノードと直接に関係しているものが存在する。この直接関係している内部ノードを他の関係しない内部ノードと区別し、それぞれを、内部端子ノードと内部ノードとに区別して呼ぶことにする。

分割法の最も大切な法則は、部品が内部端子ノードと外部端子ノードだけの関係で表されることである。これによって表された部品は、新しく生成される次の第二システムに対応している。各部品は、集積回路部品と類似したインターフェイス端子ノード群をもつ。このインターフェイス端子ノード群を端子部品システム（TPS）と呼ぶことにする。もし、インターフェイス端子部品が他の幾つか

の部品インターフェイス端子ノードと直接繋がれているならば、この繋がれた外部端子と内部端子に関する変数群は、ON法により得られるPSSにより解かれる。それゆえに、全ての部品が各部品のインターフェイス端子を自由に結合することで一つのシステムとして組み立てられるならば、全ての外部変数は解かれた状態になり、そのあとに、各部品の内部変数を解かれた外部変数を代入すること

で、全ての内部変数が解かれることになる。

この発明の目的は物理または造形システムの解析のための装置を提供することであり、この解析は、物理または造形システムを有限要素モデルまたは偏微分モデルとし、このモデルにPSSを適用して行なうものであり、このPSSは如何成る時でも完全なシステム全体としての知識を要求せずに線形方程式を解いていく手法であり、物理的データ、境界条件データや解析すべきモデリングシステムを要素群をどの様に分割するかの情報データのような入力装置；得られた解析結果をどのように画像として出力するための表示装置；ソルバー（a）装置；これは以下の装置で構成される；ノード生成部（解析の為のモデルシステム上にノードを配置し、そのノードにノード番号Kを与える）、要素生成部（配置されたノード番号Kのノードに直接関係する要素群をこのモデルシステム上に生成し、生成した要素に要素番号を与える。この生成は要素形のデータにより行われる）；要素方程式生成部（上で生成した各要素に対して要素方程式を生成する）；記憶部（生成された要素方程式を生成順に記憶する）；ノード方程式生成部（生成され記憶部に記憶された要素方程式群からノード番号Kに関する要素方程式だけを抽出しKノード方程式として生成する）；PSS生成部（Kノード方程式とKノードに対する制約条件を基礎となるPSSの中に配置する）；PSS実行部；記憶部（PSSを記憶する）から構成されている。

発明の別の目的は、さらに物理又は造形システムに対し、線形、非線形システム、動的なシステム、時間依存システムとして扱い有限要素モデル、または、偏微分モデルとして扱いPSSで解析する方法と装置を含む。

この発明は、非ゼロ要素を多く含む大規模行列や対角帯行列のソルバーやPSSによるLU分割ガウス消去法のソルバーや誤差評価部を含む。

この発明は、物理または造形システムの解析のための方法を提供するものであり、物理または造形システムを有限要素モデルまたは偏微分モデルとし、このモデルにPSSを適用して行なう方法であり、物理的データ、境界条件データや解析すべきモデリングシステムを要素群をどの様に分割するかの情報データのよう  
な入力過程（a）；解析の為にモデルシステム上にノードを配置する過程（b）、そのノード群にノード番号を与える過程（c）、ノード群からKノード番号を選ぶ過程（d）、選ばれたKノードに直接関係する要素群だけをこのモデルシステム

上に生成する過程（e）、生成した要素に要素番号を与える過程（f）、上で生成した各要素に対して要素方程式を生成する過程（g）；生成された要素方程式を生成順に記憶する過程（h）、生成され記憶部に記憶された要素方程式群からノード番号Kに関する要素方程式だけを抽出しKノード方程式として生成する過程（i）、Kノード方程式とKノードに対する制約条件を基礎となるPSSの中に配置する過程（j）、PSS方程式の解を見出す過程（k）、PSSを記憶する過程（l）、もしKノードが最後のノードでないと過程（d）戻り過程（m）まで繰り返し処理を行なわせるか、そうでないと仕事を終わらせるかを判断する過程（m）、それからこの過程の終わりに解析結果を出力する。

発明の別の目的は、ON法によるPSSにより、トポロジー的な解析とそれによる境界条件の効果の伝播状態の解析を提供する。

発明の別の目的は、有限要素モデルを幾つかの部品に分割することで、インターフェース端子付き部品を提供する。

発明の別の目的は、有限要素モデルにおいて、類似したインターフェース端子付き部品1つで表すことができるパッケージを提供する。さらなる発明の目的は、部品やパッケージを並列処理または階層型並列処理実行させる技術を提供する。1つの視野から、ノード配置や番号付けの過程は、最適な配置とトポロジカルなノード選択の過程をも含まれる。

別の視野から、この方法には、解析システムを、三角構造、四角構造、4面体構造、六面体構造、アイソパラメトリック構造等に分割し要素の生成を行うに際

し最適構造の要素生成過程を含む。

別の視野から、要素方程式の生成過程に、新たに生成して要素方程式を記憶場所に記憶し、必要でなくなった要素方程式は記憶場所から消去する過程を含む。

別の視野から、ノード方程式の生成過程で、記憶場に記憶された要素方程式からK番目の要素方程式を選択する過程を含む。

別の視野から、ノード方程式PSS方程式の中に組込む過程で、PSSの中にノード方程式を配置するしかとして、ノード方程式のなかで、既に解かれた変数をPSSの左側に又、解かれていない変数と定数を右側に配置する；任意のK番目のノード方程式からK番目のPSSを生成する過程を含む。

別の視野から、基本的なPSS方程式のON法処理には、PSSの解かれた変数に対する係数行列を縮小、削減することで、LU行列や単位行列への処理を行う過程を含む。

別の視野から、トポロジ的な解析とそれによる境界条件の効果の伝播状態の解析処理の過程では、各処理過程（Kが1からNまでを取る過程）での各PSSの定数ベクトルの値を用いることで境界状態の伝播を示す過程を含む。

別の視野から、発明の方法は更に解析システムを分割し、インターフェース端子付き部品を生成する過程を含む。

この発明は、新しい解析技術と新しい解析装置として総括することができる。この新しい解析装置は大きなシステムを小型の計算機でON法のPSSと有限要素法でのTPSの構造的な技術を用いて解析することができる。

PSSの使用は、トポロジな部分的な解法装置であり、解く段階では解析システム全体の知識は必要でなく解析を行うことができ、部品またはパッケージが容易に構成可能である。

TPSは容易に構成でき、しかも、ラジオ装置や電気回路装置のように、一つのシステムにこの部品群を組み立てることが簡単にでき、この組み立てにおいて並列処理や階層型並列処理を行うことで高速な組み立て処理を可能とする。

また、TPSは部品やパッケージ群をデータベース化することで容易に扱うことが出来るという新しいデータ処理技術を提供する。もし、部品やパッケージが計

算システムの中で一種のデータとして構成されるならば、TPSは自由にこれらのデータを用いて、任意の類似システムまたは異なったシステムを組み立てることが可能となる。このことは、物質、流体、電磁場ように異なった特性を持った物理的なシステムをも一緒にモデル化することができる。また、このことは、解析対象のモデルの一部を修正をも、TPSのデータベースの修正部分の交換だけで簡単に行うことを可能とする。

この発明を応用することができる特殊な物理構造はこの中に描かれる。スチールの梁のような弾性構造物に対する偏位や応力解析を含む。この装置は、入力装置、部品生成装置、1個またはそれ以上のソルバー装置、記憶装置と出力装置群により構成されている。

提供する発明は、付随する図を伴う以下の詳細な記述から明らかにされる。

#### 【図の簡潔な記述】

図1aは、線形方程式で表されるシステムであり、

図1bは、図1aで示される線形方程式システムの行列表示であり、

図1cは、図1aで示される線形方程式システムのダイグラフ表示であり、

図2a-2cは、ON法の各処理過程を示し、

図3a-3fは、図1aの線形方程式システムに図2a-2cのON法の適用過程を示し、

図4は、ダイグラフ表示であり、

図5は、図1aの線形方程式システムのリンク表として示す、

図6a-6dは、図1aの線形方程式システムをON法による上三角化の説明を示し、

図7a-7bは、図1aの線形方程式システムのオーダリングを説明するために用いるダイグラフであり、

図8は、オーダリングされた後のリンク表から再構成された図1aの線形方程式システムであり、

図9は、ON法を実行するための装置の最初の具体化であり、

図10は、ON法を実行するための装置の第2番目の具体化であり、



図11a～11bは、ON法による分割処理の過程を示し、

図12a～12gは、線形方程式のシステムに対してのON法による分割処理の過程を示し、

図13a～13cは、ON法による分割処理を行う装置の3つの具体化であり、

図14は、ON法による多重階層分割処理の過程を示し、

図15a～15bは、ON法による並列処理装置の2つの具体化であり、

図16Aは、新しい有限要素モデル(NFEM)のpss生成過程のブロックダイアグラムを示し、

図16Bは、新しい有限要素モデル(NFEM)の逐次処理によるTPS生成過程のブロックダイアグラムを示し、

図16Cは、NFEMの階層並列処理によるTPS生成過程のブロックダイアグラムを示し、

図17Aは、図16Aの装置を用いた時のNFEMのPSS生成の流れを示し、

図17Bは、図16Bの装置を用いた時のNFEMの逐次処理によるTPS生成の流れを示し、

図17Cは、図16Cの装置を用いた時のNFEMの階層並列処理によるTPS生成の流れ図を示し、

図18は、三角要素に分割した領域の1例を描いたダイアグラムであり、

図19は、多くの節点で構成された一つの要素例を描いたダイアグラムであり、

図20は、三角要素に分割したスチールの梁のような物理物体に対し、図16Aの解析装置の中で図17Aの処理手順により、NFEMの解析を描いたダイアグラムであり、

図21A～Eは、図20で示される例に対しNFEMの中でON法の各処理手順を示し、

図21Fは、図6fの結果との比較の中で図20で示される例での従来のFEMで得られた結果を示し、

図22は、図20で示される例を発明した方法により解析した結果の概要を表す、

図23は、図20で示される例をインターフェイス端子付き部品として分割した状態を描いたダイアグラムを示し、

図24Aは、図20で示される物理的な物体に対し、k番目のインターフェイス端子付き部品Tkを描いたダイアグラムを示し、

図24Bは、図20で示される物理的な物体に対し、k番目の部品Pkとインターフェイス端子付き部品Tkが付いた端子部品Tckを描いたダイアグラムを示し、

図25は、インターフェイス端子付き部品Tkの具体化を示し、

図26は、P番目のパッケージ構造の具体化を示し、

図27は、J番目のインターフェイス端子付き部品TJの具体化を示し、

図28は、Jとk番目のインターフェイス端子付き部品の結合によって生成される新しいインターフェイス端子付き部品Tkjを示し、

図29は、多くの部品を階層並列処理によって組合わせ結合してゆく状態を示し、

図30は、図20に示される物体を3つの部品と2つのインターフェイス端子部品として分割した状態を示す、

図31は、各部品に属する外部端子ノードに対するインターフェイス端子ノード番号の対応表ダイアグラムを示し、

図32A-Cは、TPSとしての図15の中に示される3つの部品の内部と外部端子変数の関係を示すダイアグラム表であり、

図33は、図30に示される2つの部品T2とT3の内容を1つのパッケージの端子変数の関係としてしめたダイアグラム表であり、

図34Aは、2つの部品T1とT2の結合処理によって得られた新しい部品P12のダイアグラム表であり、

図34Bは、2つの部品P12から作られた新しいインターフェイス端子部品T12のダイアグラム表であり、

図35は、2つの部品T12とT3の結合処理によって得られた新しい部品P123のダイアグラム表であり、

図36は、ノード間の関係をグイアグラムとして示した。

#### 【発明の詳細な記述】

発明の原理と装置は以下に示す記述によって詳細に述べる。この記述の前にON法の概要を提供する発明の理解の助けとなる。

#### 【ON法】

##### 【ON法の概略】

ON法は線形連立方程式を解く一種の方法である。この技術によってこの式を解く基本的な方法を以下に示す。

大切な基本式（決定方程式）は次の式で与えられる。

$$Ad \cdot x_d = Au \cdot x_u + B$$

ここで

$x_d$  : 解かれた変数

$x_u$  : 解かれていない変数

$B$  : 定数

$Ad$  : 解かれた行列

$Au$  : 解かれていない行列

状態はこの式を用いて各ノードで解かれる。先  $(k-1)$  ノードに対し上基本式が形成されたとする。次いで、 $Ad$  行列を単位行列に変換する。そして次の式として書き換える。

$$x_{dk-1} = A_{uk-1} \cdot x_{uk-1} + B_{k-1} \quad (2)$$

これを  $(k-1)$ -PSS (parcially solving Sysytem) と呼ぶことにする。

次いで、 $k$  ノードに選び、このノードに関して他のノードとの関係を式として求め、これを  $(k-1)$ -PSS の中に含める。そして ( ) の決定方程式から以下の  $k$ -PSS が求められる。

$$x_{dk} = A_{uk} \cdot x_{uk} + B_k \quad (3)$$

もし、このPSS形成を全てのノードに行うと、全てのノードに対する状態を解くことができることになる。従来の解析技術は、始めに全てのノードの関係を式で表し、それから、この表された方程式を解くという手順で状態の解を求めてき

た。ON法は、独創的な新しい解法であるので、この処理過程を以下に示す。

Step (0-1) 解析システムの中で要素を生成するためのノードを生成する。

Step (0-2) ノードを解析システムに配置する。

Step (0-3) 各ノードに対して、解く順序番号を与える。

次いで、以下の Step (1) からStep (6) までの処理をn回 (nは全てのノード数) 繰り返す。

Step (1) 任意のノードjを選ぶ。ただし、jはノード番号1からnまでの順番とする。

Step (2) 解析対象システムからノードjと直接関係している要素を生成する。

Step (3) ノードjと直接関係している全ての要素から、式を生成する。これを要素方程式と呼ぶ。

Step (4) これら要素方程式からjノードにかんする式群だけを選び出す。これをノード方程式と呼ぶ。

Step (5) ON法により、基本方程式を用いてこのノード方程式を書き換える。

Step (6) PSSの中にこのノード方程式を代入し、最後に新しいPSSを式( )から生成する。

Step (0-4) 全てのノードがPSSに取り込まれたとき、解析処理は終了する。

各ステップでのより詳細な記述を以下に述べる。

#### 【ON法の詳細な記述】

ON法の詳細な記述は、本発明を理解するうえで有効である。図1aは、提供したON法と呼ぶ発明を説明するために用いる線形方程式の一例を示す。図1bは図1aの線形方程式系の行列表示である。図1cは図1aの線形方程式系をダイグラフで表したものである。これらの図は、更に検討される。ON法の各ステップは図2a～2cに示し、図3a～3fで例にそって説明する。

図2aの中に示したように、ステップS1では、N次元方程式系の各式の中から一つの内部変数が選ばれる。ステップS1での各式に対し選択された内部変数は、順番に囲い込まれる。各次の式に対して、選ばれた内部変数はこれらの前に選ばれたものとは異なるものである。図3aは、図1aの中の式群で構成される

系のステップS1を説明している。与えられた式に対しての内部変数の選定の後残された変数は、外部変数と呼ぶ。

ステップS2において、最初のPartially solved System (PSS) は行列形式のそれぞれの線形式の左側の選ばれた内部変数を単位ベクトル化することで以下の様に形成することができる。

$$x_d = Au * x_u + b \quad (4)$$

ここで  $x_d$  と  $x_u$  はそれぞれ内部と外部変数ベクトルであり、 $Au$  は  $x_u$  ベクトルの係数行列である。 $b$  は  $x_d$  変数の係数ベクトルである。図2bは図2aのS1ブロック送致の最初の線形式にたいするPSSを得るための2つのステップ過程をしめす。

S'1ステップにおいて、最初のPSSの形式は、最初の式の選ばれた内部変数を形式の左側に置き、外部変数と定数  $b$  を形式の右側に置くようにして作られる。もし選ばれた内部変数の定数が存在しないならば、S'2のステップで全ての式は選ばれた内部変数の係数を得るために内部変数の係数によって分割される。この処理による、最初のPSSの生成は完了する。

図3bは、図1aの線形式形の最初の式に対し適用するためのS'1ステップを説明、名している。図3bの説明のなかで、内部変数係数は1の値にする。このことは、ステップS'2の実行を省くことになる。図3b-3fの中の式群はON法の理解を簡単にするために行列表示で表している。

ON法のS3ステップにおいて、第2番目に生成するPSSは図2c示めされる。ステップS'3では、第2の内部変数の式が最初に生成されたPSS上に組込まれる。ステップS'4では、新たに選ばれた内部変数がPSSの左側に、また外部変数と定数はPSSの右側に組込まれる。今は  $x_1$  と  $x_2$  は内部変数であり、これらの変数はPSSの左側に置かれなくてはならない。図3cは図1aの例の式に対してこれらのステップの過程を示している。ステップS'5の中では、内部の係数行列が良く知られた技術であるガウス消去法による単位行列への変換を示している。このことは、 $i$  番目の線形式をPSSの形成においては、選ばれた内部変数の係数を1にし、しかも、1から、 $(i-1)$  番目までの既に選ばれた式に

において、 $i$  番目で選ばれた内部変数を含む変数の係数をゼロとし、しかも、 $i$  番目の式の変数の中で 1 から  $(i-1)$  式のそれぞれで選ばれた内部変数に対応する変数の係数をゼロにする操作を行うことである。このステップは図 2 d のなかで、図 3 a の例によって示す。

図 2 a のステップ S4 では、図 2 c の S'3 - S'5 のステップで 3 番目、4 番目、・・・第  $N$  番目の P S S を繰り返し生成する。最後の  $N$  番目の P S S は、 $x_d = b$  を得る。図 3 a - 3 f の例では、4 番目の P S S が最後の P S S である。図 3

e と 3 f は、それぞれ図 3 a の線形式形例の 3 番目と 4 番目（最後）の P S S を示す。最後の P S S は線形式群の解となる。

#### 【スパース行列のメモリー、マネージメント】

線形方程式は一般に以下の行列表示で表される。

$$A \cdot x = b.$$

全ての式の表現は、行列  $A$  を構成する行列要素に関するデータと定数  $b$  のデータが必要である。しかしながら、ガウス消去法と異なり任意の段階では、システムの全情報の知識は ON 法では必要としない。

スパース行列は幾つかの行列要素はゼロであり、スパース行列の有効的な表現はダイグラフである。ダイグラフは線形システムを ON 法の装置の記憶容量の中に格納するフラフ表現による方法である。

ダイグラフでは、ゼロ係数は消去され、記憶容量とメモリー、マネージメント回数を削減させる。ダイグラフ  $G = (V, E)$  が、図 4 に示される。ダイグラフ  $G = (V, E)$  は、バルテックスと呼ばれる  $v$  要素群（これは線形方程式の変数を表す）とエッジと呼ばれる  $E$  群（これは、バルテックス間の関係で定義される）で構成される。エッジ  $e \in E(u, v)$  はバルテックス  $V$  の入力エッジを示す。もし  $u = v$  であるならば、エッジは自己ループである。図 4 の中に、一つのエッジは 2 ののバルテックスを結ぶ矢によって表される。エッジにはウエイト  $w(u, v)$  が付けられ、これにより 2 つのバテックス関係として規定される。図 1 c は図 1 a の線形方程式系のダイグラフである。

$a_{ij}$  を図 1 b の行列の  $i$  行  $j$  列での要素を表すとする。図 1 a で示される線形

方程式に対して、 $i = 1, 2, \dots, n$  に対し  $a_i \neq 0$  であることによりロスなしと仮定できる。 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  を変数群とし、図 1 a ~ 1 c では  $n = 4$  である。

$1 \leq i \leq j \leq n$  である  $i$  と  $j$  のペアーに対し、もし  $a_i \neq 0$  であるならば変数  $x_i$  は変数  $x_j$  とトポロジ的に関係している。各  $i$  に対し  $a_i \neq 0$  ならば、全ての変数  $x$  はそれ自身とトポロジ的に関係しており、図 1 c の自己ループとして表される。行列  $A$  に対する全てのトポロジ的な関係は、以下のようなダイグラフ  $G(A) = (x, E(A))$  によって表される：各変数  $x$  はバルテックス  $V_i$  で表される。もし変数  $x_i$  がトポロジ的に別の変数  $x_j$  と関係していると、 $e \in G$

$e(V_i, V_j) \in E(A)$  はウート  $w(V_i, V_j) = -a_i$  によって作られる。

ダイグラフは各バルテックスに対しそれぞれが自己ループを持つことに注意。

ベクトル  $b$  の非ゼロ定数表すために、各非ゼロ定数  $b_k$  ( $k = 1$  から  $n$ ) に対し、ソースに対するバルテックス  $s_k$  が作られる。各  $s_k \in S$  に対し、ウェイト  $w(s_k, x_k) = b_k$  が作られる。それ故に、ダイグラフ  $G(V, E) = G(A \cup b)$  であり、 $V = x \cup S$  で  $E = E(A) \cup E(b)$  となる。

[スパース行列のメモリーへの格納]

メモリーの中にスパース行列を格納するにおいて、ダイグラフとして表されるリンク化されたリンク表によってなされる。図 1 c のダイグラフは図 5 で示されるリンク表として記憶される。この表はゼロ係数の記憶を削減させる。スパース行列の記憶において、バルテックスが選ばれリンク表のヘッダーに選ばれる。図 5 のなかで、 $x_1, x_2, x_3$  と  $x_4$  は線形方程式を表す 4 つのリンク表のヘッダーである。ヘッダーとして各々のバルテックスが選ばれることにより、各ヘッダー／バルテックスが式の内部変数であるために ON 法のステップ S1 が実行される。各ヘッダーはバルテックス、...、変数の係数の自己ループウエイトとして格納する。

各ヘッダーは、バルテックスの入力エッジを表すセルとしてリンクされる。1 つのセルはバルテックスに対する入力エッジは、入力エッジのウエイトや別のセルへのポインターを形成することによる変数を示す。図 5 の中で、最初のヘッ

グー $x_1$ は変数 $x_3$ からの別の入力エッジへのポイントする変数 $x_2$ からの入力エッジを表すセルに対するポイントである。変数 $x_4$ からの入力エッジは、変数 $x_1$ から入力エッジへのポイントであり、変数 $x_4$ からの入力エッジはソースバルテックス $S1$ （内部変数 $x_1$ の定数 $b$ ）からの入力エッジをポイントする。ON法はそれ故にリンク表上によって実行される。

#### 【デンス行列】

僅かのあるいはゼロ係数のないデンス行列において、行列形式で線形方程式を記憶することは最も有効的な方法である。しかしながら、ON法は完全な行列を要求しないので、上で記述した手法を用いる。

#### 【上三角インプリメンション】

内部変数の係数行列を単位行列に変換する代りに、上三角法を用いて実行タイ

ムを削減することができる。上三角化法では、内部変数係数行列の主対角を単位に変換する。しかしながら、係数行列の下三角領域だけは、ゼロとなるために操作される。それゆえ、最後の $PSS$ だけが $x_n$ としての解を与える、次いで、残された変数の解を得るためにバックソルブが必要となる。図6 a - 6 dは図1 aの線形方程式に対してのON法での上三角化インプリメンションを示している。図6 aは2回目の $PSS$ を完成させるためのステップ $S'4$ の操作である図3 cと同様である。図6 bのなかでは、内部変数の係数行列は、上で述べた上三角インプリメンションによる操作を行ったものである。図6 dは、4番目と最後の $PSS$ が、上三角インプリメンションによって生成されている。図6 dの中で、 $x_4$ だけの解が求められる。バックソルビングが必要であり、 $x_4$ の値を上のに代入し $x_3$ の値が求められ、さらにバックソルビングを続けることにより、 $x_2$ と $x_1$ の値が得られる。

上三角インプリメンションは処理時間を削減するが、メモリー空間を多く用いるので処理時間とのトレードオフの関係にある。上三角の代りに下三角インプリメンションも可能である。それゆえ上三角か下三角インプリメンションかの選択は非ゼロとゼロ係数の構成に依存してなされる。

#### 【オーダリング】



処理時間は更にオーダリングによって削減することができる。オーダリングは線形方程式システム順序付ける処理であり、最初とそして次のPSS群は処理時間最小にする順序付けによって構成されている。オーダリングは図1cのダイグラフによって行うことがデキル。オーダリングを理解するためには、in-degreeの概念を理解することが先ず必要である。in-degreeは前もって順序付けされた外部変数からの入力エッジ数の削減された外部変数からバルテックスに入力するエッジの数である。即ち、in-degreeは、線形方程式の外部変数から既にオーダリングされた線形方程式の内部変数の数を引いた数である。

図1cの中で、オーダリングが初めて始められる時は、外部変数は前もって順序付けされていない。x2、x3とx4からの3つの入力エッジが存在するので、x1のin-degreeは3である。x2のin-degreeは、x1、x3とx4からの3つの入力エッジが存在するので、3である。x3のin-degreeは、x3とx4からの2つの入力エッジが存在するので、2である。x4のin-degreeは、x3からの1つの入力エッジが存在するので、1である。

線形方程式の中で最も小さなin-degreeはx4であるので、これが最初の式としてまたx4を内部変数としてオーダリングされる。内部変数xである式は図1cのダイグラフで表され図5のリンク表で表される。

次いでこのオーダリング処理は残された変数x1、x2とx3に対して行われる。図7aは、残された変数のin-degreeの求める計算のに可視的な助けとして使われる。x1のin-degreeは2であり、この値は、x2、x3とx4からの3つの入力エッジに対し、既に選ばれたx4からの1つの入力エッジを引いた数として求められる。図7aに示されるように、x4からのエッジとバルテックスは選択されていることにある。x1の入力エッジの数は、x2とx3からの2つである。それゆえ、x1に対するin-degreeは2となる。同様にx2のin-degreeは2であり、x3のin-degreeは1となる。それゆえ、x3が残された変数の最も小さなin-degreeを持ち、内部変数としてx3が線形方程式システムの次の式としてオーダリングされる。x3が内部変数である式として図1cのダイグラフで既に表され、図5のなかでリンク表として表される。

図7bの中に示されるように、2つの残された変数 $x_1$ と $x_2$ のin degreeは、共に1の数となる。最後の2つの $x_1$ と $x_2$ の式であり、これは同じ数を持つので次の内部変数は任意に選ぶことができる。図8は、上のin degreeによるオーダリング過程を通して得られたオーダリングされたシステムを示している。図8で示される方程式システムはリンク表から再構成される線形式の形を表している。

#### 【ON法のハードウェア化】

図9はON法の実行のための装置である。装置は一般的な目的のプロセッサ、あるいは物理システム50と関連したプロセッサである。図9の装置は提供した特許のプログラム化できるインプリメンションであり、hardwiredの考えが現在の詳細な表現に基づいた技術のなかでは巧みな手法であることは明らかである。

図9の中で、プロセッサ100は物理的システム50からシステム状態変数記号110を受け取る。例えば資源資材環境又は電気回路など。前処理は受け取ったシステム状態変数に基づいたある種の前処理を行う。例えば、物理システムをシステム状態変数によって作られた線形システムとしてモデリングや、上で述べたような線形式システムの式のオーダリングなどである。前処理100は、現

在の発明物の操作としては要求する必要はない。

前処理100は処理したデータを出力し、メモリー130の中に上で述べたようなデータとして格納する。プロセッサ160は、プロセッサ100の関数を実行する能力を持ち、プロセッサ100のための要求を削減する。制御部140はメモリー130を管理し、数値ロジック装置（ALU）150を操作しメモリー130のなかでの線形式のON法を実行させる。物理システム50を表す線形式のシステムの解がプロセッサ100に出力される。そこで、前処理100は物理システムの制御パラメータを設定し、制御パラメータをシステム制御記号120を出力することで物理システムを制御する。

ON法は制御と解析の2つの主要な分野への適用ができる。制御系や資源資材などにON法を用いたとき、前処理100は物理システム50を制御するためにシステムは制御記号120を出力する、種々の資源の資材を適当な場所に生成す

るなど、解析例えば電気回路解析等のためのON法を用いる時は、ON法は、物理システムが特殊の設計内で処理できるかを定めるために、前処理100または利用者によって用いられることが出来る物理システムの操作条件を決めるために実行する。図10は解析能力をもつON法を用いた装置について説明をおこなっている。

ON法は図9と10で示される簡単な一般的な計算機例えばNEC9800などを用いて遂行することができるので、大規模な線形方程式によって表される物理システムに対し、更に有効的な並列処理装置を図13a～13cと15a・15bに示す。これらは、ON法の分割処理に関する次の記述の中で述べる。

#### 【ON法の分割処理】

ON法に分割処理は図11a～11bと12a～12gによって述べられる。ステップ11においてN次元方程式システムは幾つかの部分システムに分けられる。各部分システムの中の線形方程式が利用者の要求や線形方程式数や処理時間の制約や他のハードの制約などによって規定される。例として、図12aに示すように12個の方程式システムを1つの部分システムが4個の方程式に成るように3つの部分システム分割する。

ステップ12のなかでON法は部分システムの線形方程式にたいして実行される。ON法を部分システム1に適用した結果を図12bに示す。図12cはPSSを

グラフ的形式で表したものである。図12cの中で、四角で囲まれた表の左側に示される変数は図12bで示される式の内部変数を示し、上部に示される変数は外部変数と定数bを示す。この四角の中の値は外部変数と定数bの係数を表す。

図1dは部分システム1～3に対してON法を適用して得られら結果を示す。ステップ13において、各線形方程式に対して最後のPSSによる外部変数が繰り返し計算を行うこと無く得られる。これらの外部変数は $x_4$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $y_4$ 、 $z_2$ と $z_3$ である。これらの外部変数のそれぞれに対し、外部変数が非ゼロ係数をもつ内部変数である各部分システムの最後のPSSのなかの線形方程式がステップ14で定義される。それゆえ、ステップ15では、線形方程式の第二のシステ

ムがステップ14で得られた線形方程式によって形成される。図12dの上で得られた外部変数が非ゼロ係数を持つ内部変数である部分システムの最後のPSSのなかの線形式を図12eは示す。ステップ16では、ON法が第三の線形システムに対して適用される。図12fはその結果を示す。ステップ17では、ステップ16で得られた結果をステップ11で得られた部分システムの線形式の解を得るためにステップ12のPSSの中に代入する。そしてN次元方程式全ての解を得ることになる。図12gは図12aの線形式の3つの部分システムの中の解かれていない変数の解を示したものである。ステップ17の処理をバックソルビングと呼ぶ。

更に上の分割処理は、卓越した技術によって改善される。N次元方程式は、部分システムに分ける分けかたに対してのオーダーリングが考えられる。また、分けられた部分システムの中の方程式に対しても最適なオーダーリングが考えられる。また、上三角化などの処理速度を削減する解法も当然適用される。

#### 【分割処理のハードウエア化】

ON法のハードウエア化に関して以前述べたように、分割処理化のハードウエア化図9と10で示し、検討したように簡単である。しかし、多くの好ましい方法は図13a-13cで示されるような並列処理の能力もちいることである。図13cの中で、前処理100は図9の中で線形方程式システムを部分システムに分ける追加処理に類似した処理となる。物理システム50は、部分的な物理システムから成り立っているとして見なしても良い。前処理の代りに、各々の部分的な物理システムはそのシステム状態変数を直接にステージ1のプロセッサ16

0に出力することができる。ステージ1のプロセッサ160は前処理100によって割り当てられた部分システムの方程式にON法を適用することができる。ステージ1のプロセッサはステージ2のプロセッサ160と通信を行いながら、ステップ14の確定した式を、ステージ2のプロセッサ160に出力する。ステージ2のプロセッサ160は確定した式によるシステムに対しON法を適用し、ステージ1のプロセッサにその解を戻す。ステージ1のプロセッサは、ステージ2のプロセッサからの解を用いて、物理システム50のモデリング

としての線形方程式システムの解を完成させる。図13a)中では、物理システム50に対し、分割処理を適用した結果がステージ2のプロセッサ160からブリプロセッサ100に出力されることを示している。ブリプロセッサ100は、それゆえにシステム制御信号120を物理システム50に出力し、あるいは処理状態条件を出力する。

更に上の分割処理は、種々の変更により提供した発明を具体化させることができる。例えば、ステージ2のプロセッサ160は確定した線形方程式システムを解いた後に、部分システムの方程式を各ステージ100のプロセッサから確定した線形式を入力し、そこでそれらを解くことなどである。

さらに、解の交換は、ステージ1の各プロセッサ160によって出力することの制約は必要がなく、ステージ1の各プロセッサ160によってブリプロセッサ100が行うことも可能となる。

加えるに、ステージ2のプロセッサ160を用いる代りに、ステップ14の方程式の確定にステージ1のプロセッサ160の1つが、図13bで示されるようなON法の適用を行うことも可能である。更に、記号前処理100の代りに、図13cで示されるようなステージ1の各プロセッサ160対応させて用いることができる。図13a-13cの並列処理を組合わせての適用が、ユーザの要求に合った最適処理の遂行を成就させることができる。

#### 【階層型分割処理】

分割処理の歩みは、上に述べた2つのステージ処理だけには限らない。分割処理は、物理システムを表すために用いる線形方程式の規模により、利用者が要求する処理速度や記憶容量などにより、多くの処理方法が考えられる。

図14は多層型分割手法の過程を示したものである。ステップT1で確定した線

形方程式の数は、利用者の要求に基づいて予め決められた数以下に決められる。もし確定した線形方程式の数が予め決められた数以下であるならば、制御をステップT3へと進める。ステップT3では、分割処理のステップ15-17が実行され、階層分割処理として線形方程式の最後のシステムがON法で解かれ、階層形分割処理が為されている間に生成された各部分システムは後退代入処理がな

される。もし沢山の確定式を予め決められてた数よりも大きいときは、そのときは制御はステップT4に進む。ステップT4では、確定した線形方程式システムがNより少ない部分システムの数になるように分ける。そして制御は、確定方程式の部分システムのためにステップT1に戻す。

更に上の階層形分割処理の変更は、技術の発展によってより有効なものとなる。線形方程式システム、又は確定した線形方程式システムが部分システムに分けられる前に変数の順序付けを行うことができる。また、線形方程式を幾つ化の部分システムに分割した後、分割された部分システムを構成する線形方程式、又は確定方程式に対しても順序付けを行うことができる。

#### 【階層型分割処理のハードウェア化】

階層型分割処理のハードウェア化は、図9、10と13a-13cに関して前に述べられそして示されるように行なわれる。しかしながら、最も望ましいものは図15a-15bで示されるような階層型並列処理を実現することである。図15aは階層型並列処理を除いて図13aに類似している。図15bは、階層段階多くのプロセッサ160を必要とすることで行われることを除いて、図13bに対応している。並列処理の段階で分割処理の各ステージは厳密には必要がないなどは技術の発展によって可能となる。

並列処理の多くの過程は、運用実行時に決められたり、利用者が決たりできる。図15aと15bの並列処理の具体化は、利用者の要求に合った操作の実行を実現するために両方を合せて行うこともできる。更に、分割処理のハードウェア化に関して上で述べた変更は、階層型分割処理のハードウェア化にも同様に適用することができる。

上で述べたように、新規な方法と発明の装置はON法におけるPSSの技術と分割法のTPSの技術の2種類の基本的な技術を含んでいる。提供した発明の具体化として3つの実際的な例が、以下の3つの章の中で述べられる。

#### 【有限要素法】

##### 【ON法におけるPSS処理の最初の実施例】

最初の実施例としてのON法におけるPSSのための装置を図16Aに示す。

この装置は基本的には入力装置01、出力装置02と解析装置10の3つの処理装置によって構成される。図16Aの装置において、NFEEMのための解析処理の手順が図17Aの流れ図に対応し、図16Aの装置の中の処理ブロックの番号と図17Aの流れ図のコラムの番号と対応する。

この流れ図と図16Aの処理ブロックを参照することで、ON法を用いたPSSの発明装置と方法が以下により詳細に述べられる。

まず最初の過程01で、データが入力装置01から入力される。これらのデータは、解析対象物の物理的なパラメータ例えば構造の寸法や形、性質、特徴等や境界条件データなどである。これらのデータは勿論シュミュレーション物体をメッシュあるいは要素に如何に分割するかを決める情報を含み、これらは入力データ部01でおこなわれる。次のステップ11で、節点生成部11で入力データに基づいて逐次的に節点kを設定され、1つのノードKが選択される。この添字Kは選択されたノード番号を示す。最初のノードはnode1として選ばれ、Kは1から順に連続したノードとなるように表される。次のステップ12は要素生成部12によって行われ、物体をデータ形の設計に基づいて分割する前に選ばれたnode1に関わりの在る要素だけが生成される。それゆえに、生成された要素のみが要素番号が付けられる。次のステップ13は要素方程式生成部13によって遂行され、上で生成された全ての要素に対し要素方程式と呼び線形方程式を生成する。要素方程式は変微分方程式にもとづいており、1つの要素が構成するノード群によって作られる。要素方程式はメモリー部18の中に格納される。次のステップ14は、ノード方程式生成部14によって行われ、メモリー部18の中に格納されている要素方程式の中からKノードに関係した方程式だけを全て抽出して、Kノード関する線形方程式を生成する。これを我々はノード方程式と呼ぶ。次のステップ16はノード方程式とKノードの境界条件とを、基本構造としてのPSSの形としてブロック15で成形する。次のステップ17はステップ16で成形した基本的なPSS方程式の解を求める。この方程式はメモリーブロック19に格納される。次のステップ19は、判定部19においてノードKの条件を評価する。もしKノードが最後のノードでないならば次のステップはブロック11

のステップ11に戻りステップ16まで続けの処理が行われる。もしKノードが最後のノードであるならば、次のステップは解析装置(a)10を終わり出力ブロック02に入りシミュレーション処理を終わる。

更に、シミュレーションの結果は、ON法で示した発明の装置や方法によっても得ることができる。

本発明の生成部の詳細な説明を以下に示す。

#### (a) 【要素生成】

NFEMの最初の主要なステップは、対象物の要素に分割することである。要素分割には、幾つかの分割が存在し、その代表的なものとしては、2次元空間での三角形要素、四角形要素や3次元空間での六面体要素、四面体要素、アイソパラメトリック要素等である。一般的な分割技術は、これらの特定の構造が与えられた場合自動的に対象節点に関しての分割を行なう。

たとえば図18で示される解析対象物100は、対象物を8個の記号1から記号8までで表わされる三角形要素として分解され、節点は、節点101から節点109までの9個で表わされる。節点101から図17Aの流れ図にそって処理がなされてきたとすると、いま節点105（ここでは節点kと記す）の処理段階での要素生成は、要素1から要素5までの5個の要素は既に生成されているの（例えば節点101では1、節点102では2と3、節点103では4、節点104では5の要素が生成される）で、新たに決める節点k105を構成要素にもつまだ生成されていない2つの要素6と要素7が生成される。もし節点106が選ばれるならば、要素8が生成される。節点107、108と109が決められた後は、任意の要素に対し更なる節点を生成することはできない。

#### (b) 【要素方程式生成】

各節点が2次元座標で与えられるとすると、このときの各節点は2変数で表される。例えば、図19のように1つのj要素115がm個の節点で構成されるとする。要素を構成する各変数は線形関係で表されるとすると、この要素jの関係式は、2m次元の連立方程式として(5)式で与えられ、これを要素方程式と呼ぶことにする。

$$A_{qj} \cdot X_j = B_j \quad (5)$$



但し、 $X_j$ は $[x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m]^T$ ベクトルであり、  
 その中の要素変数 $x_k$ は $[x_{1k}, x_{2k}]^T$ のスカラ変数であり、定数係数 $A_{q,j}$ は  
 $\text{Rank} [2 \times m]$ の行列であり、 $B_j$ は要素 $j$ を構成する各節点群の要素 $j$ に対する  
 境界条件より得られる定数ベクトルである。

この式は、 $j$ 要素を構成する $m$ 個の節点を表す変数ベクトル $x_i$  ( $i=1, \dots, m$ )  
 に関する関係式であり、各節点変数 $x_i$ は2次元により2つの変数 $x_{1i}, x_{2i}$   
 で表わされる。この $j$ 要素115の関係式の中で構成節点 $k$ 116の変数 $x_k$ に  
 対する関係式(5)式は、この関係式の中から $x_k$ に関する式を抽出すること  
 により(6)式として表わされる。

$$a_{qjkk} \cdot x_k = - \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq j}}^m a_{qjkh} \cdot x_h + B_{kh} \quad (6)$$

ただし、 $a_{qjkh}$ は行列 $A_{q,j}$ の $(k,h)$ 要素行列を示す。

ここで得られた要素方程式は、図18の記憶部18に記憶する。

例えば図18の対象物100において、この要素方程式は、新たに生成された  
 要素6よ要素7に対し(6)式を用いて要素方程式が生成され、これらは記憶部  
 18に記憶する。

#### (c) 【節点方程式の生成】

節点 $k$ を構成節点に持つ全ての要素群 $g$  ( $g=1, \dots, n_j$ )の中から $x_k$ に関して  
 の(6)式を抽出し、以下の(7)式で示すようにこれらを加え合わせなければ  
 ならない。

即ち、

$$\sum_{g=1}^{n_j} a_{gk} \cdot x_k = \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq j}}^m \sum_{g=1}^{n_j} (a_{gkh} \cdot x_h + B_{gh}) \quad (7)$$

と表される。これを行列表示で表し直すと

$$A_{qk} \cdot x_k = A_{qk} \cdot X_k + B_k \quad (8)$$

ただし、 $X_k$ は $[x_1, \dots, x_g, \dots, x_{nk}]^T$ ベクトルである。この式

を節点方程式と呼ぶことにする。たとえば、この関係式をFEMの見地から図18をみると、対象構造物100の8個の構成要素中の節点k105が関与する要素は、記号2、記号3、記号4、記号5、記号6、記号7で示される6つの三角形

要素であるので、記憶部18に記憶されているこれらの6つの要素方程式の中からxkに関する式を抽出し、それらを加え合わせることでk節点対しの(8)式が得られる。

(d) 【ON法のPSS基本式に節点方程式と境界条件の組込】

ノード方程式と境界条件をPSS基本式に組み込む原理は以下に述べる詳細な記述で明確にされる。

PSSの基本式は、(9)式として与えられる。但し、Xdkは既に決まっている変数ベクトル、Xukはまだ定まらない変数ベクトル、Aukはその2つのベクトルの間の関係を表わす[m x n]次元行列、Bは定数ベクトルである。

$$Adk \cdot Xdk = Auk \cdot Xuk + Bk \quad (9)$$

この基本式はFEMの各節点毎の離散化方程式に適用する。各節点での状態が次々と決められる。上の線形方程式ON法によって解かれる。

ノード方程式と境界条件を一つのPSS基本式の中に如何に組み込むかの説明を以下に示す。

まず、k-1節点までのPSS基本式(10)式が形成されたとする。

$$Xdk-1 = Auk-1 \cdot Xuk-1 + Bk-1 \quad (10)$$

ただし、Auk-1行列は[Au1, Au2, Au3, ..., Au(n-k+1)]要素によって構成された行列であり、Xdk-1とXuk-1ベクトルはそれぞれ[X1, X2, ..., X(k-1)]Tと[Xk, X(k+1), ..., Xn]T要素をもつベクトル変数である。次いで、ノード方程式(8)の形成はPSSの基本式(11)式として再形成される。式(11)のなかで、Ak2とAk1行列は[a1k, a2k, a3k, ..., a(k-1)k]と[akk, a(k+1)k, a(k+2)k, ..., a nk] ; a1k, a2k, a3k, ..., a kk, ..., a nkは2次元ベクターであり、1, 2, ..., nkはノード番号である。XkLは[X(n+1), X(n+2), ..., X(n+m)]T要素をもつベクトル変数であり、また各要素は、n+1, n+2, ..., n+mノード番

号にたいする2次元ベクトルである。

$$A_{k2} \cdot X_{dk-1} - A_{k1} \cdot X_{uk-1} + A_{ukk} \cdot X_{kl} = b_k \quad (11)$$

k番目のノード方程式(11)は、PSS基本式(9)式の中に組み込むと、  
k番目のPSS基本式(12)式が生成される。

$$A_{dk} \cdot X_{dk} - A_{uk} \cdot X_{uk} = B_k \quad (12)$$

$$\left[ \begin{array}{c} \Pi \\ A_{u1} \end{array} \right]$$

$$A_{dk} = \begin{bmatrix} A_{k2} & a_{kk} \end{bmatrix}$$

$$A_{uk} = \begin{bmatrix} A'_{uk-1} & 0 \\ A_{k1}' & A_{ukk} \end{bmatrix}$$

ただし、 $A'_{uk-1}$ と $A_{k1}'$ は $[A_{u2}, A_{u3}, \dots, A_{u(n-k+1)}]$ と $[a_{(k+1)k}, a_{(k+2)k}, \dots, a_{nk}]$ の要素で構成された行列であり、 $X_{dk}$ と $X_{uk}$ は $[X_{dk-1}, X_k]$ と $[X_{(k+1)}, \dots, X_n, X_{kl}]$ によって構成されるベクトル変数であり、行列 $A_{dk}$ のII記号はk次元の単位行列であり、 $a_{kk}$ は式(11)の中の $X_k$ の係数行列である。もし変数 $X_k$ が $X_{uk-1}$ の中に含まれず $X_{kl}$ に含まれるならば、 $A_{u1}$ ベクトルは全てゼロ要素となる。

PSS基本式に節点方程式を組み込むには、節点方程式(8)式を(11)式形式で表わし直しON法の基本式の中に組み込まなければならない。

ON法の $X_d$ と $X_u$ の変数の中に(8)式の各項をおさめるためには、この(8)式に關与する各節点に対して、既に決定されているかどうかを知ことが必要があり、

例えば、図18の解析対象物100にけるk番目の節点105(kは5採る)が処理されて、選択された節点105を記号(#)で表し既に決定されている変数ベクトル $X_d$ に含まれる変数に対する節点を示し、既に決定されている節点101、102、103、104は記号(\$)で表し、未決定状態である節点106、107、108を記号(\)で表す。そして、まだ生成されていない節点を記号(\*)で表す。k-1番目(104)のPSS基本式(10)のなかで、決定

された変数ベクトル $X_{dk}$ は決定された節点101、102、103に対する変数 $x_{101}$ 、 $x_{102}$ 、 $x_{103}$ 、 $x_{104}$ により成っている。ノード方程式(8)は6個の三角形要素群により作られており、ノード方程式(11)の中で節点105による変数 $x_{105}$ をこれらの要素は含んでいる。未決定変数ベクトル $X_{uk}$ は式(11)のなかの未決定節点108に対する変数 $x_{108}$ によって構成されている。

k番目(105)のPSS基本式(12)は、PSSの基本式(11)にノード方程式(11)を組み込み、その組み込まれた式の $X_{uk}$ の未決定変数 $x_{105}$ を式(12)の決定された変数 $X_{dk}$ の決定変数に移すことにより生成される。

(e) 【PSS基本式の決定】

決定技術は以下に示す方法による。k番目のPSS基本式(13)は、式(12)の $A_{dk}$ を単位行列とすることで決定できる。この単位行列化は多くの方法があるが、 $A_{dk}$ 行列は非ゼロ要素が少ないので非常に簡単な方法で行うことができる。それゆえ、k番目の基本PSS方程式は以下の(13)式の基本式として表され、これらの式は図16Aの記憶部19のなかに格納される。

$$X_{dk} = A_{uk}' \cdot X_{uk} + B_k' \quad (13)$$

(f) 【条件判定】

逐次解法処理を続けるかどうかの判定は以下の条件によって制御される。もしk番目の節点が最後でないならば要素を生成する初期のステップにもどり、そうでないと解析した結果を出力して全ての処理を終了する。

例えば、図18の解析対象物100の節点の記号(\)を全て記号(\$)に変えて行くことにより解析対象物の節点を全て記号(\$)に変えたとき各要素の状態が決まり処理が終了することになるので、節点k105が決定された後は、節点k105の記号(#)を記号(\$)に変え、次の節点106を図17Aの流れ図にそって新たに節点109を生成し、節点記号(\)にし、要素8を生成し、要素8の要素方程式を生成し、節点106を決定し節点記号(\)を記号(\$)に変えて再び判定部17に戻る。

次いで、まだ図18の節点107、節点108、節点109が記号(\)であるが、これらの処理には新たな要素生成がないので、記憶部18に記憶されてい

る要素方程式から関連する式を抽出することにより節点方程式を生成し、各節点を決め全ての記号（\）を記号（\$）にかえることにより、判定部17により処理の終了とする判定を生成させることにより、解析処理は終了する。

（g）【本発明の具体的な実施例】

本発明の具体的な実施例として、図20の2次元弾性体モデル130の解析方法を以下に説明する。解析の対象構造として固体モデル130は本柱、鋼鉄性梁またはそれに類似するものである。図20-22によって説明すると、図20に示す通り、鋼鉄性梁130は22個の節点と20個の三角形要素に分割され解析され

る。この鋼鉄性梁は横10m、縦2mで構成される。境界条件は、この梁の両側端に設けられ、辺A-A'に外力2が加えられ、辺B-B'は固定される。このシステムの実証が弾性構造体として取り扱われる。この発明の方法によってこの梁を解析した結果は、従来の手法と同じ結果を与えるが、効率は従来より優れている。図20-22は外力が鋼鉄の梁のような固体構造の上を伝搬してゆくときの変形状態の伝搬を説明している。

図20-22をさらに詳細に説明する。解析物130の横（x軸）と縦（y軸）は10と2の長さであり、それぞれが（x、y）軸座標を持つ。境界条件は外力F1はA-A'記号のy軸にそって懸けられ、別の側の端は固定される。解析物100にそっての任意の場所での変形と応力現象は図16Aで示される装置と図17Aの流れ図にそって解析される。図20の解析体130中では、22個の節点は、N1, N2, . . . , N21, N22の記号で表される。これらの節点により、20個の三角形要素（解析体に示される番号1, 2, . . . , 19, 20）にステップ12によって分割される。節点と要素番号の付けかたは、図20に示される外力によって作用された側から順に番号が付けられる。i番の節点の変位 $X_i$ は二次元変数 $x_i, y_i$ によって構成される。

PSSの各ステップは、図17Aの流れずにそって行われる。最初に、解析物130の節点N1がステップ11で選ばれる。そしてN1に対する1つの要素（a）がステップ12によって別の節点N2とN3を生成することにより生成される。要素（a）の要素方程式がステップ13で生成される。そしてブロック18の記憶

部に格納する。ノード方程式がステップ14で要素(a)の要素方程式だけにより形成される。次の15ステップの組み立ては他の式がまだ存在しないので必要がない。図11Aの流れ図の最後のステップにおいて、節点Niに対するPSS基本式(14)が得られる。節点Niに対して、Xiは二変数成分xiとyiの変位変数ベクトルである。(i=1, 2, 3)

$$X_{d1} = A_{u1} \cdot X_{u1} + B1 \quad (14)$$

ただし、Xd1はx1に等しく[x1, y1]の要素からなる。またXu1は未決定変数であり[x2, x3]の要素からなり、また[x2, y2, x3, y3] Tとなる。また定数行列Au1と定数ベクトルB1は以下のような値となる。

$$A_{u1} = \begin{bmatrix} 0.300416 & -0.240333 & 0.699584 & 0.240333 \\ 0.101130 & 0.919096 & -0.101130 & 0.080904 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$B1 = [-0.000010, 0.000018] T$$

この式を図21Aのように表形式で示す。

次いで節点2(結果は図21Dに示す)、節点3(結果は図21Cに示す)、節点4(結果は図21Dに示す)、・・・、節点12(結果は図21Eに示す)と節点の番号順にON法の基本式形式で処理を行なっていく、最後の節点22で(16)式

$$X_{d22} = B22 \quad (16)$$

となり、Au22行列が存在しなくなりB22の値がXd22の値となり、最終的な変位Xd22(結果は図21Fに示す)を得ることができる。

#### (h) 【結果の評価】

図20の中に示される同じ弾性固体モデル130に対してFEMの従来のコレスキーバンド法で解析をおこなった。この方法の結果を図21Gに示す。発明の処理の図21Fの結果と図21Eで得られた結果は一致している。しかし、発明の方法は少ない計算処理時間や記憶容量でより有効的なものである。特に重要なことは、発明の方法は部品における解析という先行技術と全く異なる手法となっていることである。

PSSによって描かれた評価に対し、Au行列とBベクトルの大きさは最大「 $5 \times 44$ 」の容量を要求するだけである。コレスキ---バンド法の要求する容量は、この方法の二倍である。もし、未決定変数ベクトル $X_{dk}$ （ $k$ は1から21までである）はゼロ要素ベクトル成しており、12式は以下の17式のようになる

$$X_{dk} = B_k \quad (17)$$

選択された変数ベクトルに等しいこの定数 $B_k$ は、選ばれた節点の上の外力 $F_1$ の効果によるものである。各部分的な解法処理の結果は、図22bに記された図によって示される。重ね書きされた各々は、各節点で $A-A'$ の端での外力によって生じた偏位の状態を表している。図22bの結果は、発明の方法によって従来の方法で実現できるよりも非常な速さで求められる。なぜならば、本方法が一回であるのに対し、従来の方法では22回の計算回数によってしか求めることができないことによる。

提供した発明は、FEMの解析において大幅に必要とされる記憶容量や処理時間を削減できる簡単でしかも有効的な方法と装置である。提供した発明のON法は、弾性構造解析と同様に熱伝導解析、熱流体解析、流れ解析や電磁場解析などの物理現象の他の数値処理に適用することができる。

この方法は、強力な新しいFEMを提供し、コンピュータ指向の工学ツールとして用いることができる。

ここで梁130に用いられる処理の要約を再び示す。この要約は図36のモデルを用いておこなう。各ステップで行われる処理は図16Aのブロックダイアグラムにそって説明をおこなう。この図36で、記号①から⑦までは要素を表し、○は未決定変数のノードを、●は決定変数のノードを、◎はいま決めようとしている変数のノードと×はまだカタログされていない変数を示す。

ステップ (0-1) ノードの配置。

解析物のノード配置は解析物の形と境界条件によって異なる。ここでは、それらが既に配置されたものとして与える（図36の1から9の数字によって与える）。

ステップ (0-2) 要素の分割。

前段階の決定として要素の分割を如何にするかである。ここでは、特殊の構造としてではなく、一般的な場合として与えられる。

ステップ (0-3) ノード番号付け。

解析を始める最初のノードから解析が行われる順に連続な番号が付けられる。このノード順は解析をおこなうのには大切なものである。ここでは、図36の構造にそってトポロジ的に付けられている。

ステップ (1) ノードの選定。

解析はノード番号1から始め、ノード順に以下に示す処理が行われる。ここで我々はJ番目(5番目)のノードに着目する。

ステップ (2) 新しい要素の生成。

図36のノードJが選ばれ、新しい要素⑤から⑥が生成され、図36の実線としてマッピングされる。このためにはノード8が新しい変数として導入される。

ステップ (3) 要素方程式の生成。

ここでは要素方程式が新しい要素(⑤と⑥)が新しいマッピングにより生成される。

ステップ (4) ノード方程式の生成。

図36のノードJは五つの要素--②、③、④、⑤と⑥に接している。ノードjに関係した要素方程式は、これら要素の全ての式から得られる、一緒にして一つのノード方程式として生成する。

ステップ (5) 決定方程式の中に繰込む。

ここで上で得られたノード方程式はON法を用いて書き換えられる。この書き換えは、以下のおこなう。

図36のなかで、記号●はすでに決定されたおり、記号○はまだ未決定状態である。そこで、記号○に対応する変数をXuに、記号●に対応する変数はXdに配置する。

ステップ (6) ON法の決定。



ON法のノード方程式形式をON法の基礎表記の形にインストールする。こ

れは基本方程式12式の形で表される。ON法は、この形を13式の形にかえる

ステップ (0.4) 決定の終わり。

記号○の全てのノードが記号●の変ったとき、全システムの状態が決定される

## (2) 【分割法におけるTPSとしての具体的な実施例2】

次いで、以下に新規な対象物の部分分割による部品化とその端子化の方法及び解析装置の実施例を図16Bに示す。解析装置は、七つの主要な装置部から作られている。即ち、図16Bの入力部03、出力部05、対象物の部品生成部04、解析器(b)20と解析器(c)30、解析器(d)40と記憶装置24等である。

図16Bの装置によって、NFEMの解析処理が図17Bの流れ図に沿って実行される。ただし、図16Bの装置の中の幾つかの処理部の番号と図17Bの流れ図のステップの番号とは対応している。

図17Bの流れ図と16Bのブロックダイアグラムを用いながら、分割法としてのTPSに対して、第2の方法と発明の装置について詳細に述べる。

先ず操作者により、入力データ部03で最初のステップ03が入力データを入力することから始まる。また、解析対象物の構造の位置 寸法等の物理的データとそれに対する境界データ、対象物の部品化のためのデータや部品化された各部分の分割構造データが次いで入力される。

次のステップ04で、部品生成部04で対象物は幾つかに分割され部品が生成され、それらはK番目の部品番号が付けられる(ここでKは1からmまで取る:mは分割された数である)。

次のステップ10で、図16Aで示される解析器(a)10の全てのステップを行うことで内部節点の全ての状態が決められる。ただし、内部変数はK番目の部品の中の内部端子節点を含む。

解析器(a)10で、ステップ11は部品の中の節点を整理し、節点番号を付

け、節点を計算するための選ぶ。ステップ12は選ばれた節点に関して要素だけ  
を生成し、それに要素番号をつる。ステップ13は生成された要素から要素方程  
式を生成し、それらを記憶部18に格納する。ステップ14は記憶部18の中に

記憶されているこれら要素方程式から、節点1に関しての節点方程式を生成する  
。ステップ15は生成された節点方程式をPSSの基本構造に合うように修正す  
る。ステップ16は修正されたPSS方程式を解析する、そして図16A記憶装  
置19に記憶する。ステップ17は節点が最後の節点であるかないかを判定する  
。これらは前に述べている。

図16Bの中のインタフェイス端子部品生成としてのステップ21は、内部端  
子変数と外部端子変数の間の関係を明確にし各部品のインタフェイス端子を生成  
する。もし、インターフェイス端子部品と類似のグループが存在するならば、パ  
ッケージ生成部22のステップ04とステップ22で類似部品グループのための  
パッケージを生成しする。全ての部品やパッケージは記憶装置24に記憶させる。  
もし全ての部品やパッケージが完全に生成されてたならば、部品組み立て部でのステ  
ップ25は、部品やパッケージのインタフェイス端子を解析する元の構造物に復元  
するために結合する。組み立て処理はPSSや後退代入技術によってインタフェ  
イス端子変数状態を決めることができる。次の解析器(d)26でのステップ2  
6は外部端子変数の値を各部品でのPSS方程式に代入することにより各部品尾  
内部変数の状態をきめる。次のステップ終了部27は出力部05に入りシュミュ  
レーション処理を終了する。それゆえに、ここで示したようにシュミュレーショ  
ンの結果は発明の第2の方法とTPSに基づく装置によって得られる。

本発明の生成部の詳細な説明を以下に示す。

(a) 【部品の生成】

部品生成04においては、FEMとして解析対象物を幾つかの部分(部品)に  
分割する。解析対象物の構造としては、二次元長方形構造やそれらを幾つも組み  
合わせた3次元構造など多様な構造が存在する。ここでは、解析対象物を例えば  
簡単に2次元長方形構造として、それを如何に端子付き部品とするかについて示  
す。図23のような2次元長方形構造のシステム150を与える。ここで、シス

テムを任意の大きさ（ここでは、 $i$ 、 $k$ 、 $j$ 、 $h$ の4つの部分システムに）に分割し、この部分システムに他の部品と接続する接続端子をつけて $i$ 、 $k$ 、 $j$ 、 $h$ の4つ部品として図2-3のように表す。たとえば、部品 $k$ 153は、部品 $i$ 152と部品 $j$ 154の二つの部品と結合するので、この2の部品との間に接続する端子155を図2-3のように付ける。全ての部品に対しても同様の接続端子が付けられる。

FEM解析の見地から図2-4Aに示す部品 $k$ 160（図2-3153に対応する）の構造に着目すると、この部品 $k$ は多くの要素群とその要素群を構成する節点群とからなり、これを構成する節点は、他の部品と全く関係しない節点群である内部節点161（ $x_{ok}$ 変数ベクトル）、他の部品と関連する節点群である内部端子162（ $x_{tki}$ 変数ベクトル）と他の部品に属する節点群である外部端子163（ $x_{tik}$ 変数ベクトル）との3つの節点群によって構成する。ここで、図2-3の隣接する部品 $i$ 152との関係で部品 $k$ 153の端子をみると、部品 $i$ 152も部品 $k$ 153、も同じ構造の外部端子155が付けられる。その状態で端子化を行なうことは、端子構成要素群の関係を2回も求めることになり、処理の無駄となる。そこで端子構成要素群155の処理を1回ですませるために、接続端子群を別に扱うことも考えられる。そのために、部品 $k$ 152と部品 $i$ 153に共通な端子155を図2-4Bに示す端子部品 $T_{ik}$ 165（外部端子変数と内部端子変数の関係として表わされる）と外部端子を持たない部品166と区別して部品群を生成することもできる。

#### (b) 【部品の端子化生成】

端子の要素構造が三角形要素で構成されているとし、図2-4Aのような構造として1つの部品 $k$ 160は、生成されているとすると、この部品の外部端子163を構成する要素を含めて図1-6Bの解析器 $a$ 10によりON法を用いて処理を行なうと、(18)式のように求められる。

$$x_{dk} = A_{ukp} \cdot x_{uk} + B_k \quad (18)$$

ただし、 $x_{uk} = [x_{tik}, x_{tjk}]^T$ 、 $x_{dk} = [x_{ok}, x_{tki}, x_{tkj}]^T$

この式は決定変数ベクトル $x_{dk}$ は、内部節点による内部変数ベクトル $x_{ok}$ 161と内部端子節点による内部端子変数ベクトル $x_{tki}$ 162と $x_{tkj}$ 、未決定変数ベクトル $x_{uk}$ は、他の部品の節点である外部端子変数ベクトル $x_{tik}$ 163と $x_{tjk}$ として

表わされる。この式において、変数ベクトル  $x_{dk}$  の中から  $x_{tki}$  と  $x_{tkj}$  ベクトルだけを抽出し、(19)式

$$x_{dk} = A_{utk} \cdot x_{utk} + B_{tk} \quad (19)$$

$$\text{ただし、} \quad x_{dk} = [x_{tki}, x_{tkj}]^T$$

と表わす。この式は図27として表わされ、FEMにおける部品kの端子化(図27)を生成する。この式で  $B_{tk}$  ベクトルは、部品kの節点群の境界条件より得

られる。

$$x_{dk} = A_{utjk} \cdot x_{tik} + A_{utjk} \cdot x_{tjk} + B_k \quad (20)$$

#### (c) 【部品のパッケージ化生成】

部品のパッケージ化生成部(図17A)においては、解析対象物が同じ構造や僅かに異なる構造を持つ部品群で構成されている時に稼働する。このような場合が解析対象物には多く見られる。例えば、建物の部品としての何本かの柱、壁や窓等のように、同じもの又は類似の部品を組合せて作られるシステムが多く存在する。そこで、この同じ物や類似の物を統一して1つのパッケージとして構成することにすのであるが、異なる境界条件の下での同じ構造の部品や類似の部品をまとめて1つのパッケージで表わすことが必要となる。それ故に、このパッケージ化は、種々の類似の部品を求める処理を節約できるので、計算容量と計算処理時間の大幅な短縮を計ることができるだけでなく、汎用性をもつ部品として保存しておき、再度利用することも可能となる。そこで、部品のパッケージ化の生成について以下に検討を行なう。

部品のパッケージ化は、まずどのような部品がパッケージ化できるか調べ、パッケージ化できる部品群において共通でない要素を抽出し、それらを調整用節点として付加する。この付加するものとして、部品の内部節点の異なる場合は内部調整節点( $x_{up}$ 変数)、部品により境界条件が異なる場合は境界条件の入力源を変数  $x_{cp}$  に取り、外部端子数が異なる場合は、最大限の外部端子を設定することにより、新しいパッケージ部品を生成する。この生成されたパッケージ部品は、部品の端子化生成と同様に以下に示す処理により端子化を行なう。パッケージ部品  $p$  の基本式は、一つの端子付き部品の関係を表わす式(19)式をもちいて(21

）式のような一般的な式として表わし直す。

$$x_{dp} = A_{up} \cdot x_{tup} + C_{cp} \cdot x_{cp} + C_{bp} \cdot x_{bp} \quad (21)$$

$$x_{dp} = [x_{op}, x_{tp}]^T$$

この式の状態を図26に表わし、これをパッケージの基本構造180とする。

図26におけるパッケージpは、パッケージ化される部品群の内部節点変数  $x_{op181}$  と内部端子変数  $x_{tp182}$  と部品群を調整する節点変数群  $x_{cp182}$  と部品群内の境界条件調整としての入力源変数  $x_{bp184}$  と部品の外部端子変数群  $x_{tup185}$  で構成される。

(d) 【パッケージがらの部品化生成】

パッケージからの部品化生成部22は、各部品での具体的な境界条件や数値をこのパッケージに与えることで求めることができる。ここで、任意のパッケージpが、(21)式のように求まるとすると、パッケージpからの類似な部品kの部品化は、(21)式を構成するベクトルの外部端子変数  $x_{tup}$ 、内部端了変数  $x_{op}$ 、内部調整変数  $x_{cp}$ 、境界条件の入力源変数  $x_{bp}$  に具体的な値が代入し、ベクトル  $x_{dp}$  から内部端子  $x_{tp}$  を  $x_{dtk}$  とし抽出することによる(22)式の形式に作り替えることができる。

$$x_{dtk} = A_{upk} \cdot x_{tupk} + (C_{cpk} \cdot x_{cpk} + C_{bpk} \cdot b_k) - A_{utk} \cdot x_{tk} + B_{tk} \quad (22)$$

図10と11の実施例において図25で示したK番目の端子化部品170は図26のパッケージ180から生成することができる。

(e) 【部品の組み立て】

部品の組み立て部は、既に得られた部品の組み立てを以下に詳細に説明する。

さて、部品k同様にして得られた別の部品jとの結合を行なう。部品jの端子の関係式は、以下の(18)式と(19)式と同様に(23)式と(24)式で与えられ、

$$x_{dj} = A_{ujp} \cdot x_{uj} + B_j \quad (23)$$

$$x_{uj} = [x_{tkj}, x_{thj}]^T$$

$$x_{dj} = [x_{oj}, x_{tjk}, x_{tjh}]^T$$

$$x_{dtj} = A_{tj} \cdot x_{utj} + B_{tj} \\ + A_{tjk} \cdot x_{tkj} + A_{tjh} \cdot x_{tjh} + B_j \quad (24)$$

ただし、 $x_{dtj} = [x_{tjk}, x_{tjh}]^T$

その時の端子間の関係は図27に示される。ここで(20)式と(24)式に着目し、この2つの式をまとめてON法の基本式で表し直すと、

$$A_{dtkj} \cdot x_{dtkj} = A_{utkj} \cdot x_{utkj} + B_{tkj} \quad (25)$$

$$x_{dkj} = [x_{tki}, x_{tkj}, x_{tjk}, x_{tjkh}]^T$$

$$x_{dkj} = [x_{tki}, x_{tjh}]^T$$

$$B_{tkj} = [B_{tk}, B_{tj}]^T$$

$$A_{dtkj} = \begin{bmatrix} I & A_{utkj} \\ A_{utjk} & I \end{bmatrix}$$

$$A_{utkj} = \begin{bmatrix} A_{utki} & 0 \\ 0 & A_{utjh} \end{bmatrix}$$

と表される。

(25)式をON手法を用いて $A_{dtkj}$ 行列を単位行列にする。その $x_{dtkj}$ から $x_{tki}$ と $x_{tjh}$ に対応する変数を抽出し、(26)式として表わす。

$$x_{dtkj} = A_{utkj}' \cdot x_{utkj} + B_{tkj}' \quad (26)$$

$$\text{ただし、} x_{dtkj} = [x_{tki}, x_{tjh}]^T$$

この式は、図27の状態を表す。この図の構造は、図25の構造と同じになっている。このことは、部品k170と部品j190の組み合わせは、部品k170の外部端子 $x_{tkj}171$ と部品j190の内部端子 $x_{tjk}172$ を結合し、それら部品の残りの外部端子 $x_{tki}163$ と $x_{tjh}193$ を新しい外部端子とする新しい部品k-j191を作り出したことになる。このように部品の結合は、多くの部品を自由に結合する場合でも同様に行なうことができる。これらの式による部品の組み立ては、基本的には2つの部品を1つの部品として、次々に部品を取り込んで大きな部品として組み立てていく(逐次組立て法と呼ぶ)ことを前提としている。しかし、組み立てには、組

組み立てる目的によって幾つかの方法が存在する。

例えば1つの方法として、多くの部品の組み立てに於いて、可能な2つの部品の組み立てを同時に並列的に行なうことを考える。この組み立ては、図29のように、階層型並列組み立て処理が可能となる。この組み立て方を、階層型組み立て法とよぶことにする。これについては実施例3においてその処理の方法について説明する。

(f) 【各部品の内部変数の決定】

全ての部品は、各部品のインタフェース端子を自由に結合して1つのシステムを作り上げるならば、全ての外部変数状態は既に求められた外部変数ベクトルを

式(24)と式(19)に代入することで決められる。線形方程式18の最初のシステムは各部品の各式(18)に解かれた外部変数ベクトルを代入する後退代入処理により状態を決定することができる。

(g) 【本発明の具体的な実施例2】

本発明の具体的な実施例2(検討項目2)を以下に示す。

本発明の端子付き部品の解析装置(図16B)の図17Bのフロー図に沿っての具体的な実施例として、既に実施例1で用いたと同じ弾性構造物130に対する外力による変位の解析について説明する。

この構造物130は、部品生成部により第30図に示す3つの部品1(201)、部品2(202)、部品3(203)と2つの端子部品1;204、端子部品2;205を生成する。この時の各端子部品の節点番号と部品の内部節点番号の対照表を第16図に作成する。この表の中の節点番号は図30に示される番号の位置の節点に対応させると、各節点を2次元で表わすとする、その節点kの座標を( $x_k$ ,  $y_k$ )で表わされ、(19)式の端子変数を以下のように対応する。

$$x_{t12} = x_{t21} = [x_{101}, y_{101}, x_{102}, y_{102}, x_{201}, y_{201}, x_{202}, y_{202}]^T$$

$$x_{t23} = x_{t32} = [x_{203}, y_{203}, x_{204}, y_{204}, x_{301}, y_{301}, x_{302}, y_{302}]^T$$

次いで、図17Bの流れ図に沿って解析器b20を用い、各部品の端子化生成を行なう。これらの部品生成は、式(19)の行列 $A_{tk}$ とベクトル $B_{tk}$ 表示のよって表される。インタフェース端子部品401、402と403を表す行列A

utkとベクトルBtkの各要素の値は、図3 2 A、図3 2 Bと図3 2 Cの各表によって表される。これらの表は、図2 4でのものと同じ表現である。

部品のパッケージ化生成に関しては、部品4 0 2と部品4 0 3は同じ構造となっている。ただし、部品4 0 2と部品4 0 3を図3 0で比較すると節点数が異なるように思われるが、部品4 0 3での固定節点はx軸y軸共に変形しないので、この節点は端子化の過程では処理する必要がないことによる。

そこで、この2つの部品は1つのパッケージとして表わされ、このAukは図3 3 Aに示される。これより生成した行列には、図3 3 Bと図3 3 Cの表の中の全ての要素が含まれている。式(2 2)の中の調整変数ベクトル  $x_{tp}$ ,  $x_{dp}$ ,  $x_{utk}$ ,  $x_{dtk}$ は以下の様に与える。

部品4 0 2に対しては、

$$\begin{aligned} x_{tp} &= [x_{tp1}, y_{tp1}, x_{tp2}, y_{tp2}, x_{tp3}, y_{tp3}, x_{tp4}, y_{tp4}]^T \\ x_{dp} &= [x_{dp1}, y_{dp1}, x_{dp2}, y_{dp2}, x_{dp3}, y_{dp3}, x_{dp4}, y_{dp4}]^T \\ x_{ut2} &= [x_{101}, y_{101}, x_{102}, y_{102}, x_{301}, y_{301}, x_{302}, y_{302}]^T \\ x_{dt2} &= [x_{201}, y_{201}, x_{202}, y_{202}, x_{203}, y_{203}, x_{204}, y_{204}]^T \end{aligned}$$

部品4 0 3のに対しては

$$\begin{aligned} x_{tp} &= [x_{tp1}, y_{tp1}, x_{tp2}, y_{tp2}, x_{tp3}, y_{tp3}, x_{tp4}, y_{tp4}]^T \\ x_{dp} &= [x_{dp1}, y_{dp1}, x_{dp2}, y_{dp2}, x_{dp3}, y_{dp3}, x_{dp4}, y_{dp4}]^T \\ x_{ut2} &= [x_{203}, y_{203}, x_{204}, y_{204}, 0, 0, 0, 0]^T \\ x_{dt2} &= [x_{301}, y_{301}, x_{302}, y_{302}, 0, 0, 0, 0]^T \end{aligned}$$

2つのインタフェース端子部品4 0 2と4 0 3はこのパッケージから生成することができる。

次いで、部品の組立て部2 5においては、この3つの部品を部品番号順に逐次組立てを行なうことにすると、先づ部品4 0 1と部品4 0 2の組立ては、部品4 0 1に対し部品4 0 2に対して新しい図3 4 aの部品12を生成し、この部品12に対し新しい部品12の端子化を行ない得られた結果を図3 4 bに示す。この形成された図3 4 bの部品12の端子と図3 4 cの部品3の端子を組合わせるで、同様に新しい部品123を生成し得られた結果として図3 5 aを得る。この部品123を



構成する節点の変数は、それらが数値としてだけで表わされることにより、この端子の変位の状態を解析できたことになる。

最後に、各部品の全ての節点の状態を定めるために、図16bの解析器d40の部品内の状態決定生成部21により、図35aの部品123で得られた端子変数値を部品12の図34a図で示される外部端子の変数 $x_n$ に代入することにより部品12の節点の未決定変数の値を図35bで全て得られる。

ここで得られた値を、部品1、部品2と部品3の外部端子変数それぞれに代入すると、これらの部品の構成節点の値が定まる。

部品1に関しては

$x1=-0.002235$	$y1=0.037214$	$x2=0.002146$	$y2=0.037201$
$x3=-0.002208$	$y3=0.031688$	$x4=0.002129$	$y4=0.031676$
$x5=-0.002138$	$y5=0.026272$	$x6=0.002068$	$y6=0.026259$
$*x7=-0.002024$	$*y7=0.021074$	$*x8=0.001963$	$*y8=0.021062$

部品2に関しては

$*x1=-0.001866$	$*y1=0.016205$	$*x2=0.001815$	$*y2=0.016192$
$x3=-0.001664$	$y3=0.011773$	$x4=0.001622$	$y4=0.011761$
$*x5=-0.001419$	$*y5=0.007888$	$*x6=0.001386$	$*y6=0.007876$

部品3に関しては

$*x1=-0.001130$	$*y1=0.004659$	$*y2=0.001107$	$*y2=0.004647$
$x3=-0.000797$	$y3=0.002196$	$x4=0.000784$	$y4=0.002183$
$x5=-0.000421$	$y5=0.000607$	$x6=0.000416$	$y6=0.000594$
$x7=0.000000$	$y7=0.000000$	$x8=0.000000$	$y8=0.000000$

と求められる。ただし、記号\*は外部端子として既に求められている値を示す。

これらの値は、既に実施例1の具体的な図21Eのモデルで求めた値は図21Fの値と一致する。

以上の過程により、本発明が提供するFEMにおける部品化解析器が、解析対象物を構成する全ての節点の変位の値を与えることを示した。

### (3) 【階層並列処理における分割法TPSの実施例3】

第三の実施例として階層並列処理分割法による端子部品装置(TPS)として図16Cに示す。部品化とその端子化の方法及び解析装置は、基本的には六つの処理部によって構成されている。即ち、図16cの入力部03、出力部05、対象物の部品生成部04、ソルバー(b)デバイス50、ソルバー(c)デバイス60、ソルバー(d)デバイス70である。図16Cの解析装置において、FEMを解析する処理は図17Cに示される流れ図にそって実行される。処理は、図17Cに示されるように主に二つの並列処理過程50、70と一つの階層型並列処理過程60をもつ。図16Cで示される装置の各処理ブロックの数字は、図17Cの流れ図の中の各処理コラムの番号に対応する。図16Cの処理ブロックを参照し、流れ図に従いことにより、第三番目の発明の階層型並列法によるTPS実施例とその装置のより詳細な記述を以下に行う。

まず操作者により、入力部03を介して処理過程3が、解析対象部品の分割構造や数等の物理的データが入力される。次いで、部品生成部04で対象物のを幾つかに分割し部品を生成する。

さらに、解析器b50により、各部品に対し以下に示すような並列処理が行われる：物理データ、境界条件データ、要素の形や数データや部品の外部端子や内部端子ノードデータなどの情報が入力される。次いで、インタフェース端子部品が生成される。これらはパッケージ部品の生成も含む。次の過程60は前進代入過程と後退代入過程における階層並列処理時におけるインターフェース端子部品の組み立て処理とそれを通しての解析処理が行われる。最後の過程70は並列処理による各部品で内部状態を解析し、その解析された結果を出力する。

ここで提供した技術は、従来の有限要素法に対しての解析技術とは異なる新しい解析技術である。この技術は解析対象物を構成する各ノードをトポロジー的に解析処理してゆくことができるので、境界条件がどの様に解析対象物を伝搬していくかを解析できる。このことは従来のものではできない。しかも、解析処理は非常に少ない記憶容量で高速処理で実行できる。また従来は不可能であった並列的にインターフェース処理を行うことをも可能とした。このインターフェースを生成することは、解析システムを幾つかの部品に分割し、分割された部品で

たの部品と分断された部分をインターフェースとする。そして、これらの部品ごとに解析し、最後に再び互いの部品のインターフェース端子を結びあわせることで最後に元の解析物になるように部品の組み立てをおこなう。

T P Sによる階層型並列処理を用いた本発明の装置と方法のこの具体化としての実施結果は、短時間で得られた。

【図1】

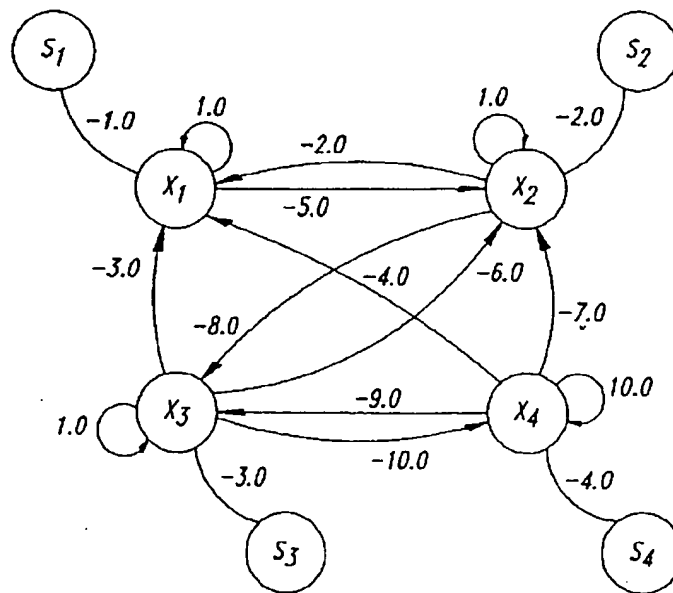
図1 a

$$\begin{aligned} 1.0X_1 + 2.0X_2 + 3.0X_3 + 4.0X_4 + 1.0 &= 0.0 \\ 5.0X_1 + 1.0X_2 + 6.0X_3 + 7.0X_4 + 2.0 &= 0.0 \\ 8.0X_2 + 1.0X_3 + 9.0X_4 + 3.0 &= 0.0 \\ 10.0X_3 + 1.0X_4 + 4.0 &= 0.0 \end{aligned}$$

図1 b

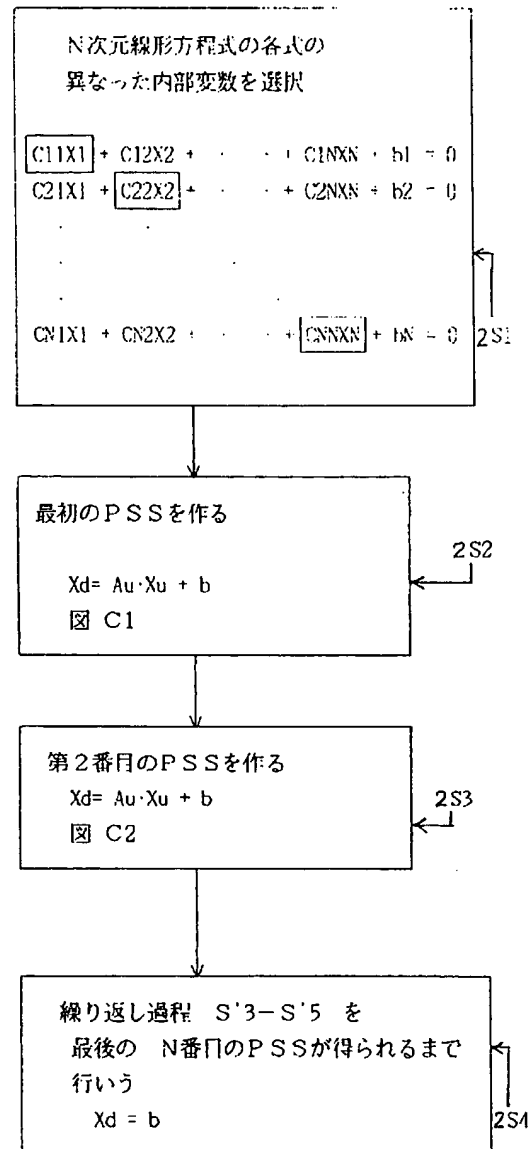
$$\begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 & 3.0 & 4.0 \\ 5.0 & 1.0 & 6.0 & 7.0 \\ 0.0 & 8.0 & 1.0 & 9.0 \\ 0.0 & 0.0 & 10.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 \\ 2.0 \\ 3.0 \\ 4.0 \end{pmatrix}$$

図1 c



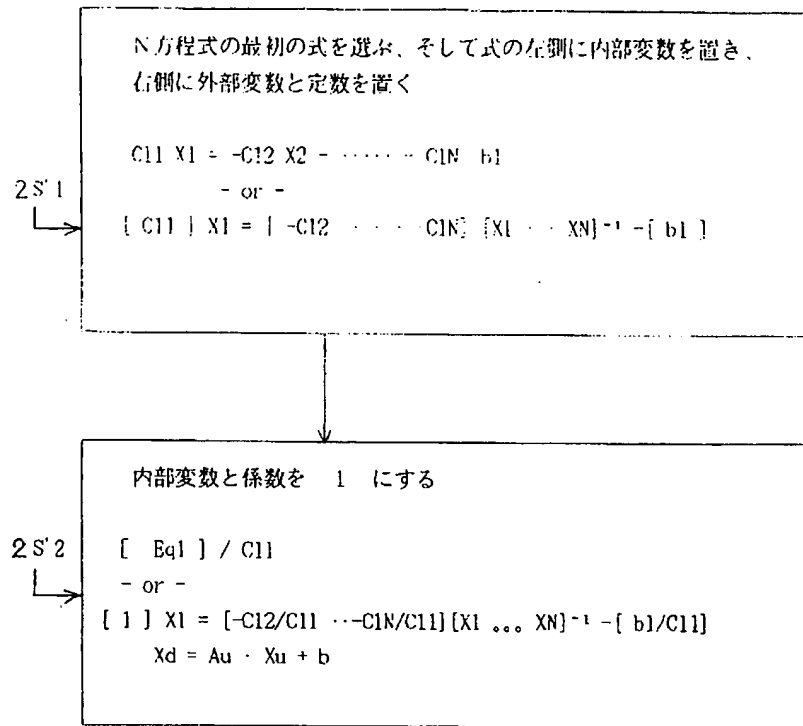
【図2】

図2a



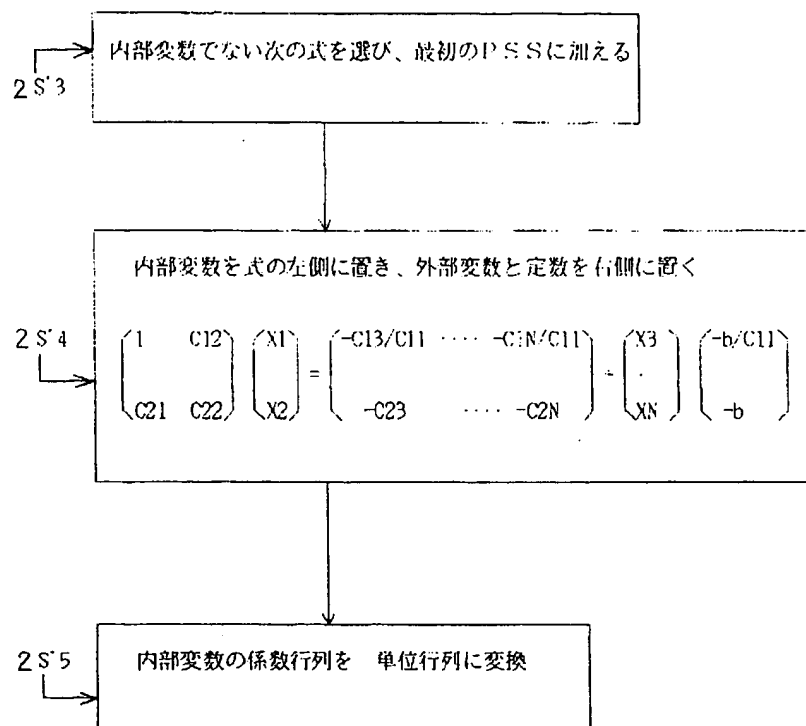
【図2】

図2b



【図2】

図2c



【図3】

図3 a

$$\begin{aligned}
 & \boxed{1.0X1} + 2.0X2 + 3.0X3 + 4.0X4 + 1.0 = 0.0 \\
 & 5.0X1 + \boxed{1.0X2} + 6.0X3 + 7.0X4 + 2.0 = 0.0 \\
 & 8.0X2 + \boxed{1.0X3} + 9.0X4 + 3.0 = 0.0 \\
 & 10.0X3 + \boxed{1.0X4} + 4.0 = 0.0
 \end{aligned}$$

内部変数

図3 b

$$\begin{aligned}
 [1.0][X1] &= [-2.0 \ -3.0 \ -4.0] \begin{bmatrix} X2 \\ X3 \\ X4 \end{bmatrix} + [-1.0] \\
 [X_d] &= [A_u] \cdot [X_u] + [b]
 \end{aligned}$$

図3 c

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 \\ 5.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -3.0 & -4.0 \\ -6.0 & -7.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X3 \\ X4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1.0 \\ -2.0 \end{pmatrix} \\
 [X_d] &= [A_u] \cdot [X_u] + [b]
 \end{aligned}$$

図3 d

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -1.0 & -1.111 \\ -1.0 & -1.444 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X3 \\ X4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.3333 \\ -0.3333 \end{pmatrix} \\
 [X_d] &= [A_u] \cdot [X_u] + [b]
 \end{aligned}$$

【図3】

図3 e

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.746032 \\ -1.079365 \\ -0.365079 \end{pmatrix} + x_4 + \begin{pmatrix} -0.380952 \\ -0.380952 \\ 0.047619 \end{pmatrix}$$

$$[x_d] = [A_{ii}] \cdot [x_u] + [b]$$

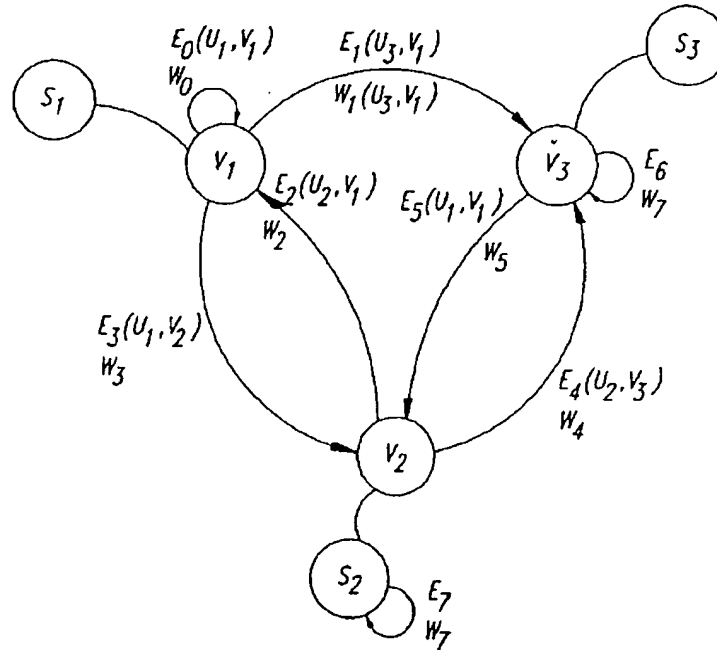
図3 f

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.646714 \\ -2.203593 \\ -0.568862 \\ -1.688623 \end{pmatrix}$$

$$[x_d] = [b]$$

【図4】

図4





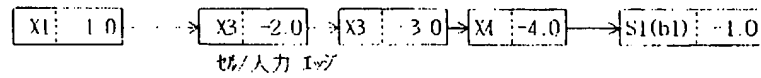
【図5】

図5

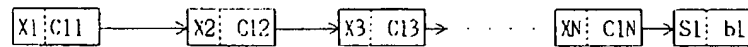
ヘッダー／端子／内部変数

／端子／外部変数

ソース端子／定数



一般的なリンクリスト



【図6】

図6 a

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 \\ 5.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3.0 & -4.0 \\ -6.0 & -7.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X3 \\ X4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1.0 \\ -2.0 \end{pmatrix}$$

図6 b

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 \\ 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3.0 & -4.0 \\ -1.0 & -1.444 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X3 \\ X4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1.0 \\ -0.3333 \end{pmatrix}$$

上三角領域

主対角

下三角領域

【图6】

图6 c

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 & 3.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.0 \\ -1.4444444 \\ -0.365079 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1.0 \\ -0.333333 \\ 0.047619 \end{pmatrix}$$

图6 d

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 2.0 & 3.0 & 4.0 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.44 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.36 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.0 \\ -0.333333 \\ -0.047619 \\ -1.688623 \end{pmatrix}$$

【图7】

图7 a

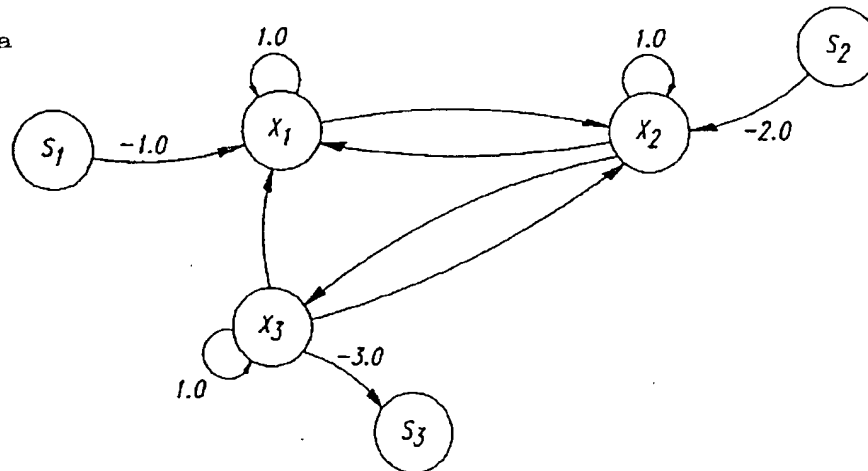
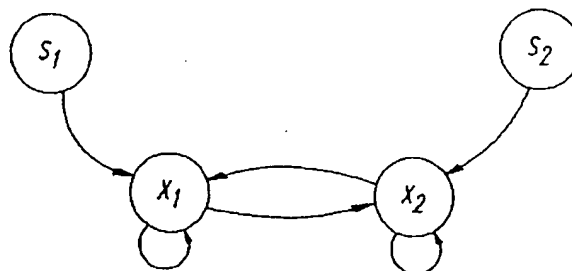


图7 b



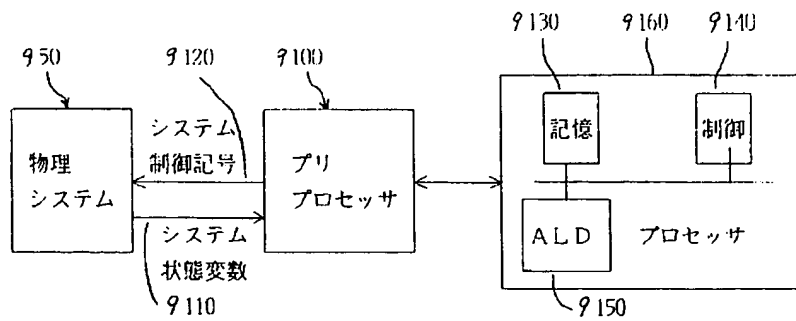
【図8】

図8

$$\begin{aligned}
 1.0X4 &= 10.0X3 - 4.0 \\
 1.0X3 &= -8.0X2 - 9.0X4 - 3.0 \\
 1.0X2 &= -5.0X1 - 6.0X3 - 7.0X4 - 2.0 \\
 1.0X1 &= -2.0X2 - 3.0X3 - 4.0X4 - 1.0
 \end{aligned}$$

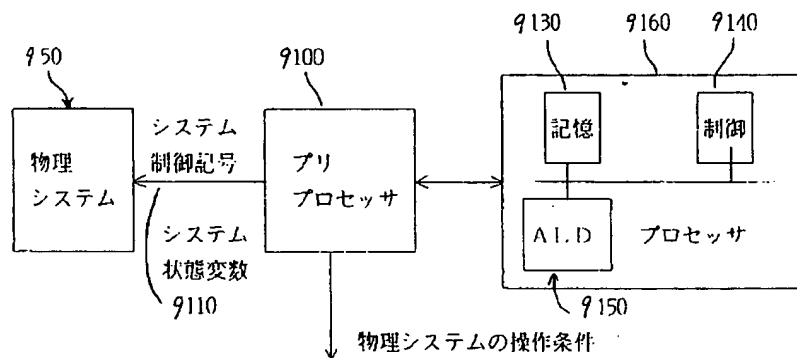
【図9】

図9



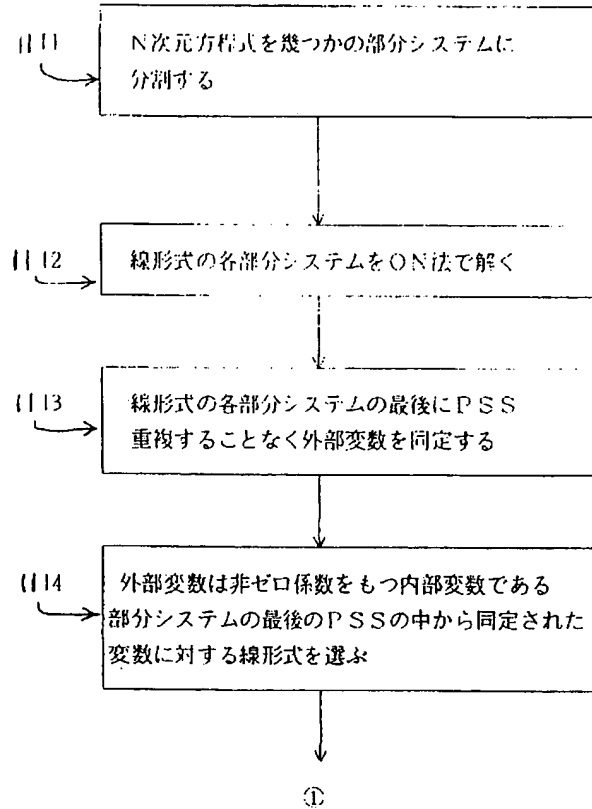
【図10】

図10



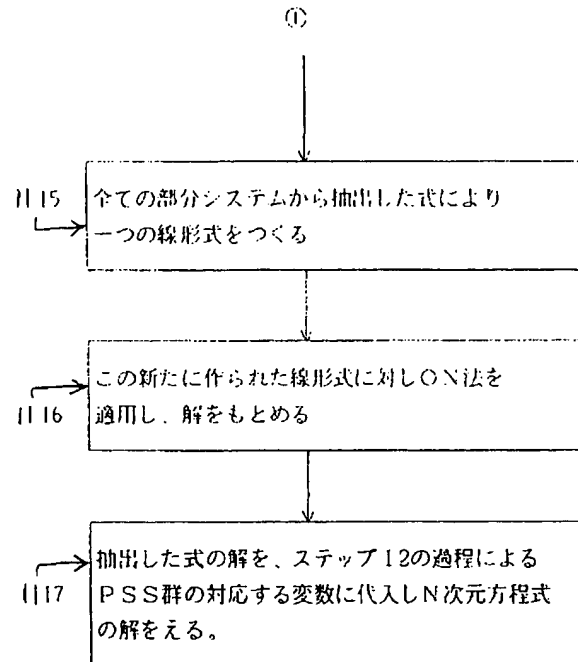
【図11】

図11a



【図11】

図11b



【図12】

図12 a

部分システム 1 :

$$\begin{aligned}
 1.0X1 + 0.2X2 + 0.3X3 + 0.4X4 &= 1.0 \\
 0.5X1 + 1.0X2 + 0.6X3 + 0.7X4 + 0.9Y2 + 0.2Y3 &= 2.0 \\
 1.0X3 + 0.8X4 &= 0.623 \\
 0.9X2 + 0.8X3 + 1.0X4 + 0.3Y3 &= 0.4
 \end{aligned}$$

部分システム 2 :

$$\begin{aligned}
 1.0Y1 + 0.2Y2 + 0.3Y3 + 0.4Y4 &= 0.0 \\
 0.3X4 + 0.5Y1 + 1.0Y2 + 0.6Y3 + 0.7Y4 &= 0.0 \\
 0.5X4 + 0.8X4 + 1.0Y3 + 0.9Y4 + 0.7Z2 + 3.0 &= 0.0 \\
 0.8Y3 + 1.0Y4 &= 4.0
 \end{aligned}$$

部分システム 3 :

$$\begin{aligned}
 0.8Y4 + 1.0Z1 + 0.2Z2 + 0.3Z3 + 0.4Z4 &= 1.0 \\
 0.8Y2 + 0.5Z1 + 1.0Z2 + 0.6Z3 + 0.7Z4 + 2.0 &= 0.0 \\
 0.9X4 + 1.0Z3 + 0.8Z4 &= 0.0 \\
 0.8Z3 + 1.0Z4 &= 0.0
 \end{aligned}$$

図12 b

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X1 \\ X2 \\ X3 \\ X4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.327273 & 0.103030 & -0.003030 \\ -1.636363 & -0.151515 & -0.151515 \\ -3.272727 & -0.363636 & -1.363636 \\ 4.090909 & 0.454545 & -0.954545 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y2 \\ Y3 \\ Z3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.797980 \\ 0.101010 \\ 9.090911 \\ 11.363636 \end{pmatrix}$$

図12 c

	$Y_2$	$Y_3$	$Z_3$	$b$
$X_1$	-0.327273	0.103030	-0.003030	0.797980
$X_2$	-1.636363	-0.151515	-0.151515	0.101010
$X_3$	-3.272727	-0.363636	-1.363636	9.090911
$X_4$	4.090909	0.454545	-0.954545	-11.363636

【图 1 2】

图 1 2 d

	Y2	Y3	Z3	b
X1	-0.327273	0.103030	-0.003030	0.797980
X2	-1.636363	-0.151515	0.151515	0.101010
X3	-3.272727	-0.363636	-1.363636	9.090911
X4	4.090909	0.454545	-0.954545	-11.363636

	Z1	Z2	b
Y1	-4.844312	-3.814372	-1.640719
Y2	-5.221557	-5.071856	-2.203593
Y3	-0.413174	-0.377245	-0.568862
Y4	4.131737	3.772455	1.688623

	Y4	Y2	X4	b
Z1	0.888889	-2.22222	1.151899	0.399437
Z2	-4.444445	1.11111	1.531646	0.509142
Z3	0.000000	0.00000	0.113924	-0.367089
Z4	0.000000	0.00000	-1.139241	-0.369114

图 1 2 e

$$\begin{aligned}
 X4 &= 4.090909Y2 + 0.454545Y3 - 0.954545Z3 - 11.363636 \\
 Y2 &= -5.221557X4 - 5.071856Z2 - 2.203593 \\
 Y3 &= -0.413174X4 - 0.377245Z2 - 0.568862 \\
 Y4 &= 4.131737X4 + 3.772455Z2 + 1.688623 \\
 Z2 &= -4.444444Y4 + 1.111111Y2 + 1.531645X2 + 0.509142 \\
 Z3 &= 0.113924X4 - 0.367089
 \end{aligned}$$

【図12】

図12 f

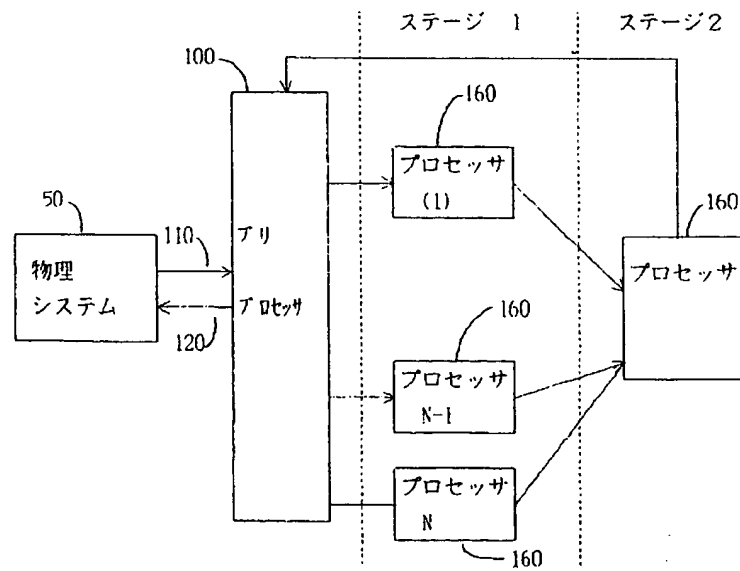
	b
X2	0.095912
Y2	-0.126412
Y3	-0.411983
Y4	0.119833
Z2	0.310808
Z3	-0.378015

図12 g

	b
X1	-0.050955
X2	-0.335777
X3	0.035386
Y1	0.009444
Z1	0.676391
Z4	-0.219847

【図13】

図13 a





【図13】

図13b

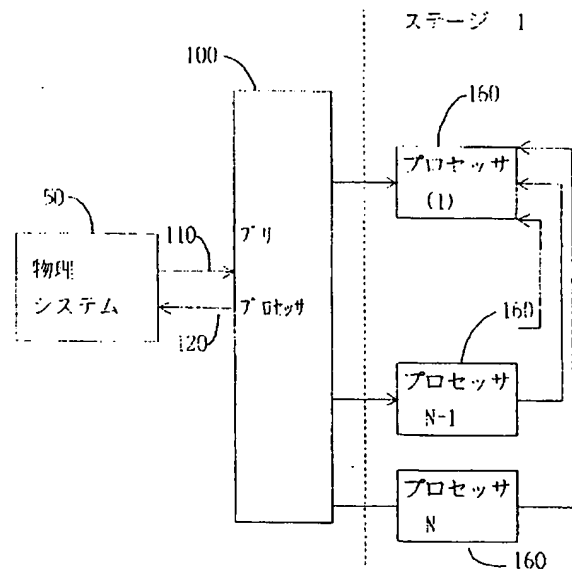
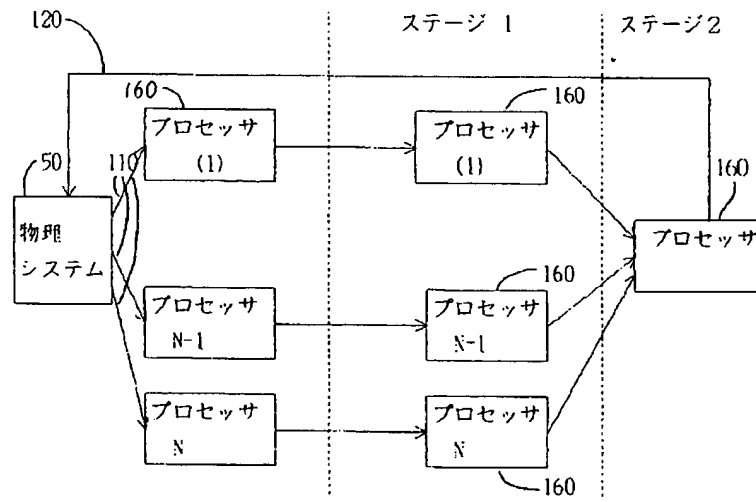


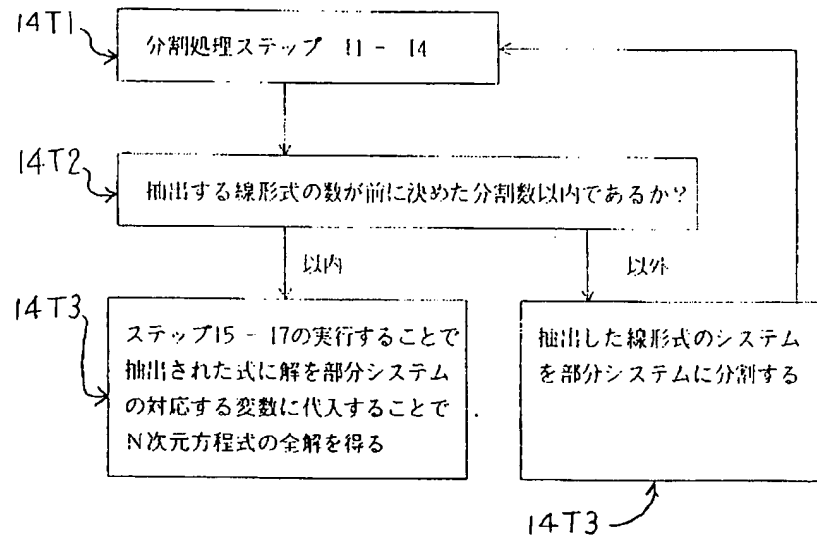
図13c



【図14】

図14

階層分割



【図15】

図15 a.

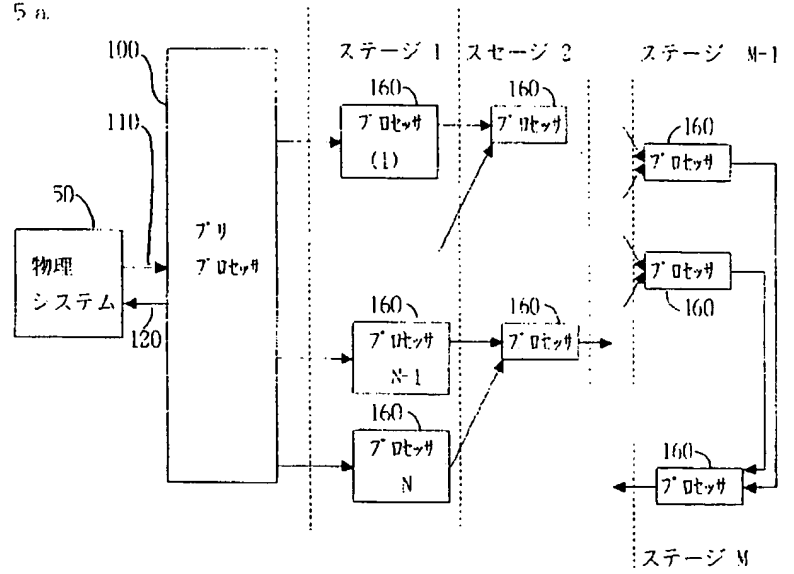
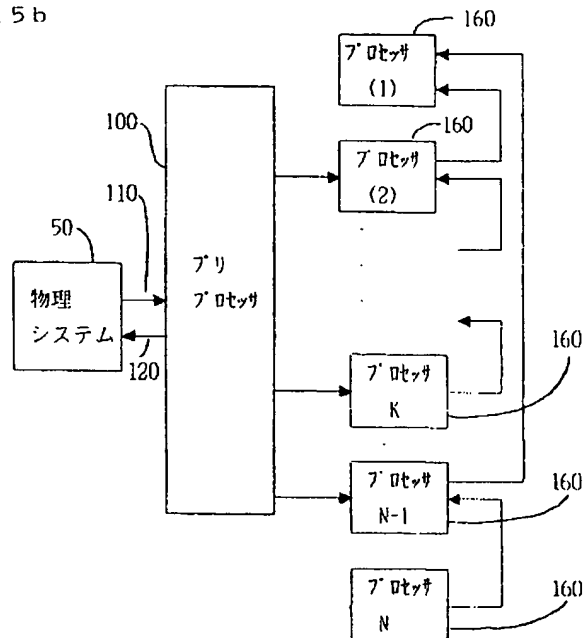
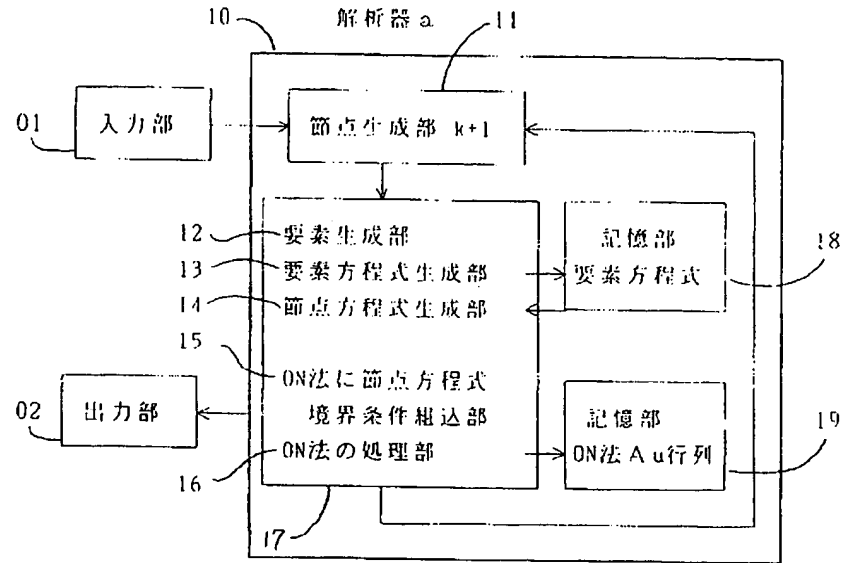


図15 b

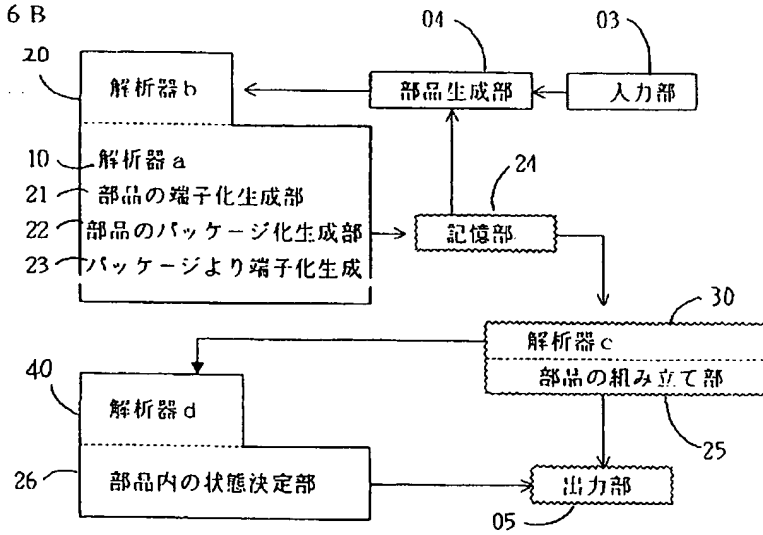


【図16】  
図16A



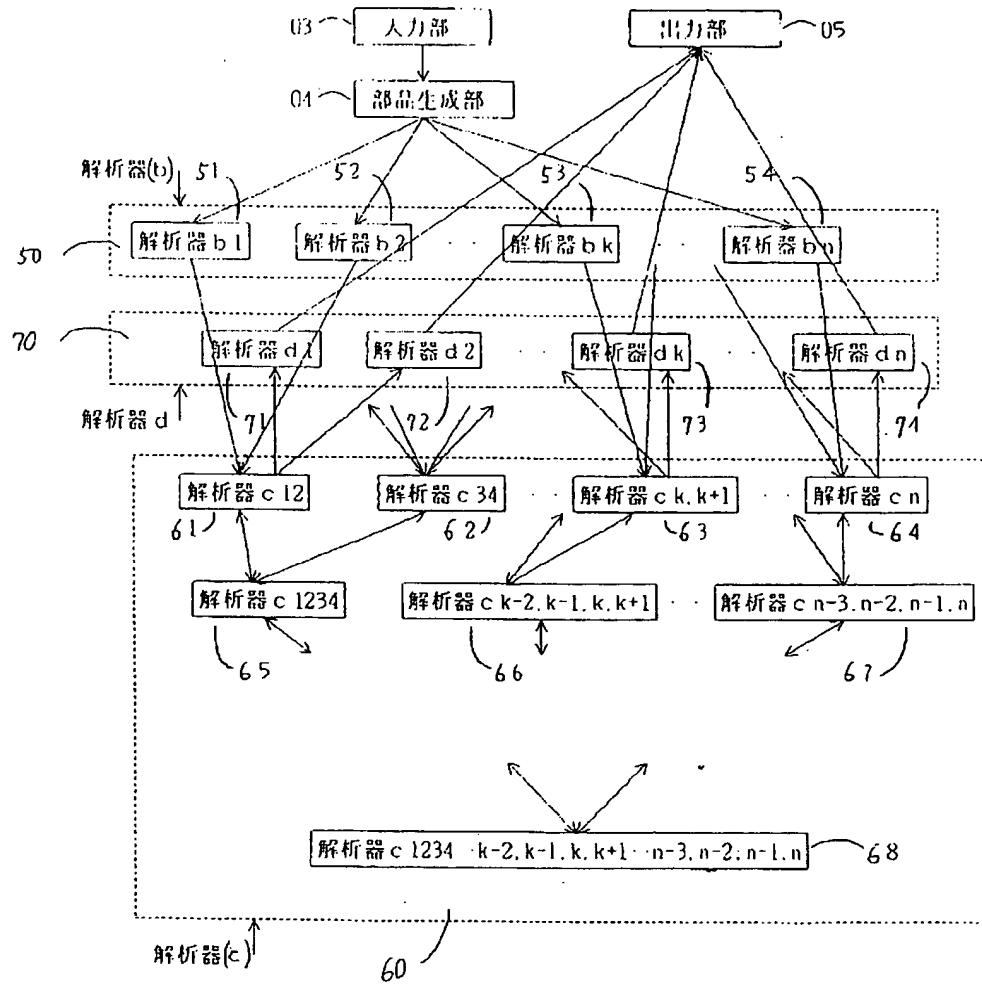
【図16】

図16B



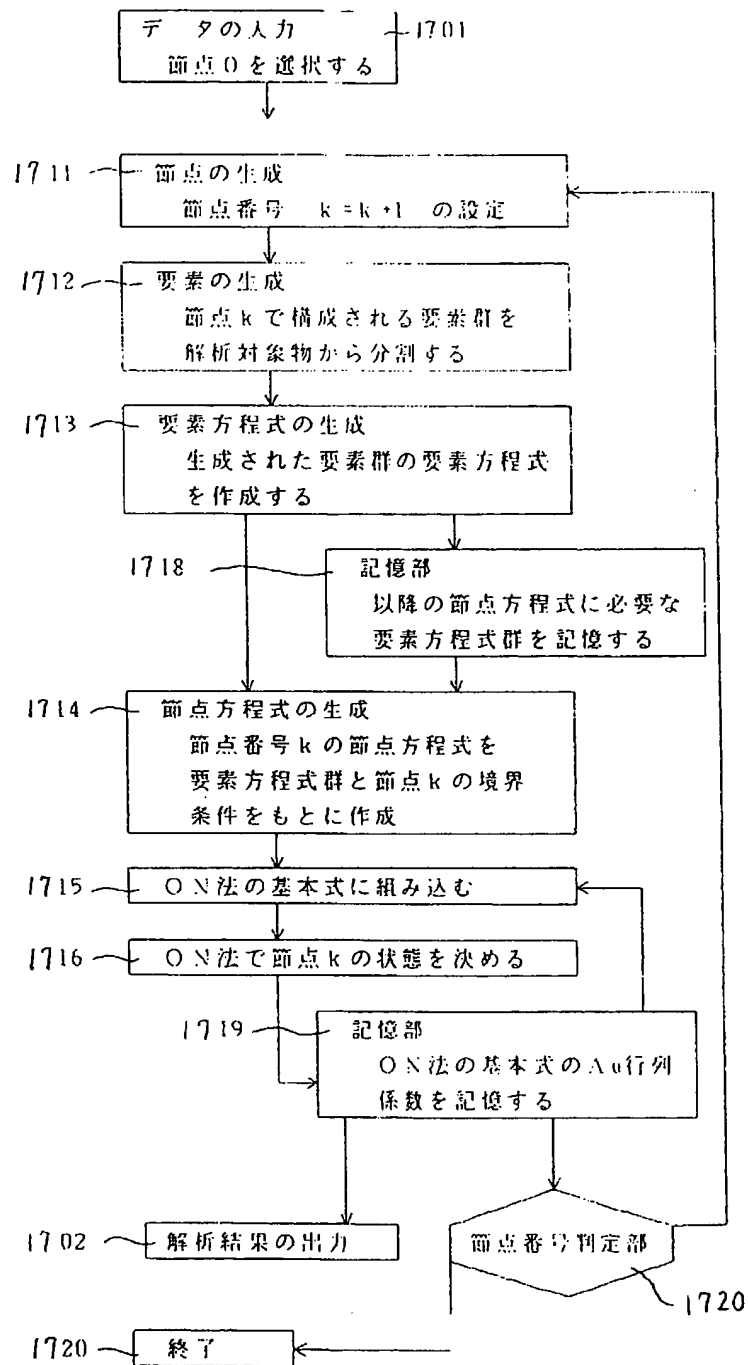
【図16】

図16C



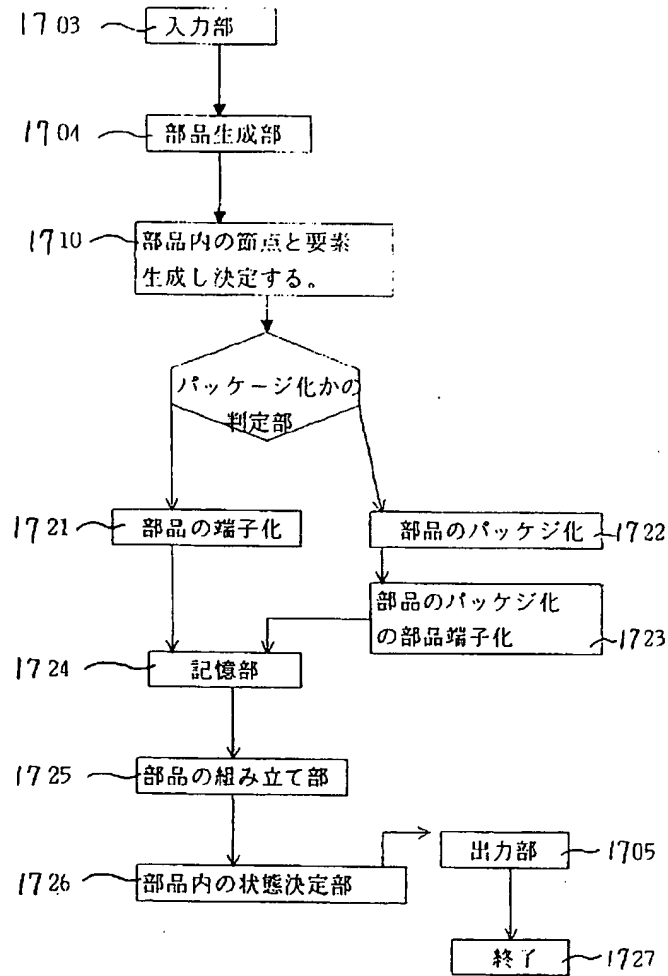
【図17】

図17A



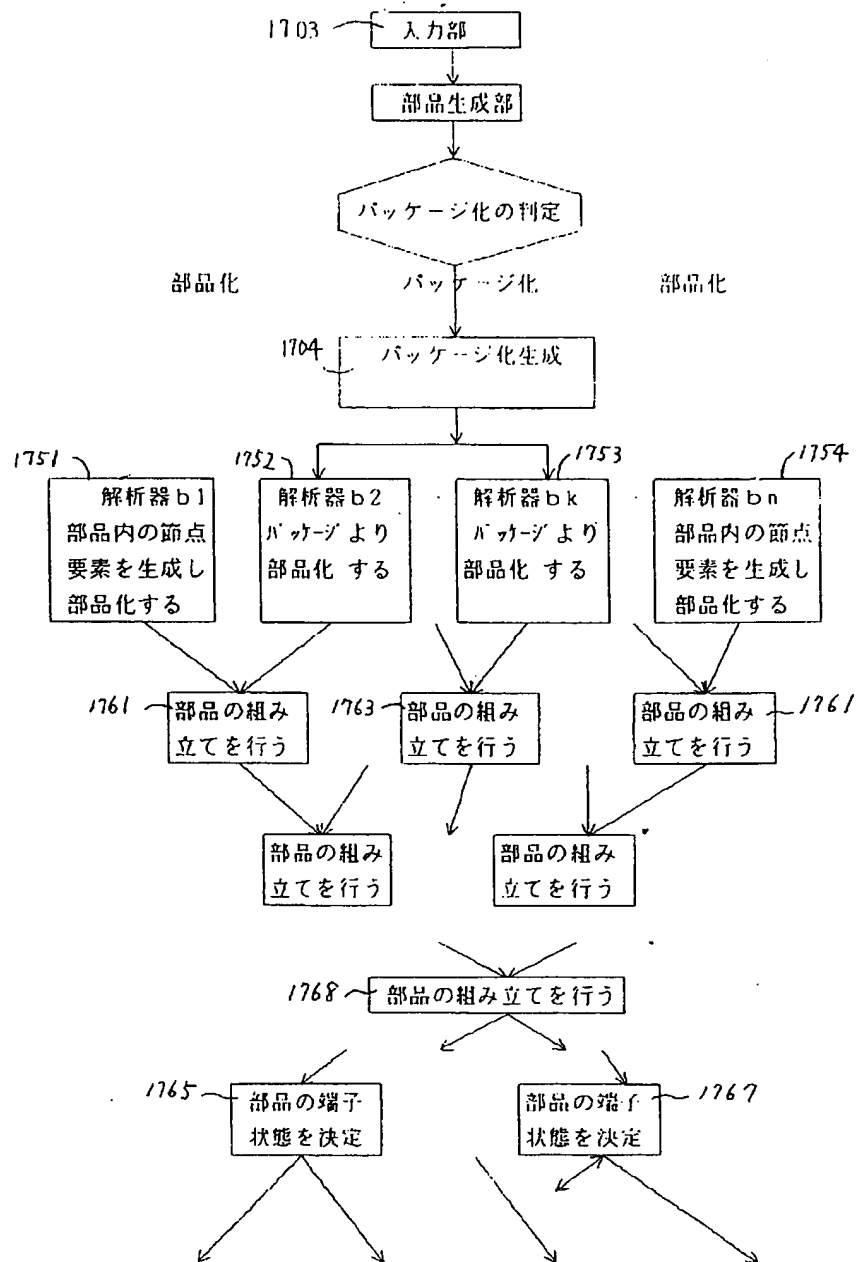
【図17】

図17B



【図17】

図17C





【図17】

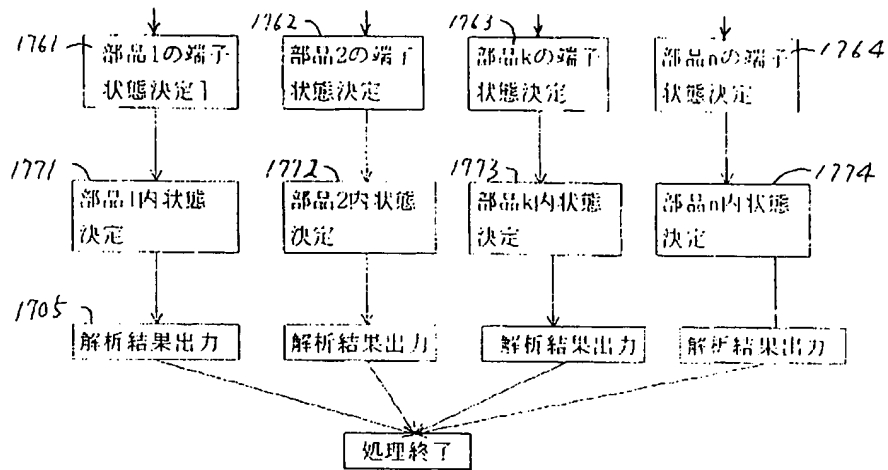
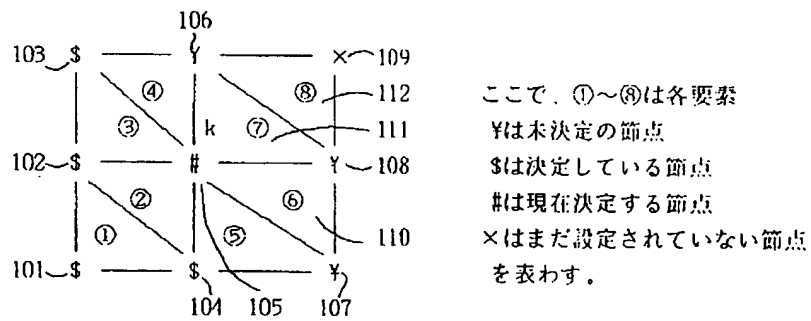


図17C (続き)

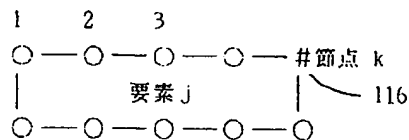
【図18】

図18



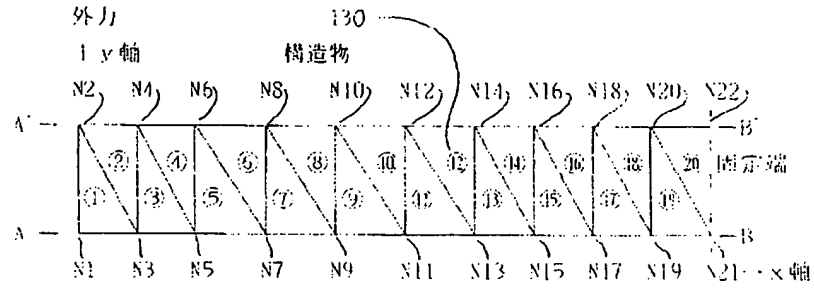
【図19】

図19



【図20】

図20



【図21】

図21A

X d 変数項	B 定数項	Xu変数項に対するAu行列項			
		節点番号2		節点番号3	
		x2	y2	x3	y3
x1	-0.000010	0.300416	-0.240333	0.699584	0.240333
y1	0.000018	0.101130	0.919096	-0.101130	0.980904

図21B

X d 変数項	B 定数項	Xu変数項に対するAu行列項			
		節点番号3		節点番号4	
		x3	y3	x4	y4
x1	-0.000027	1.000000	0.065241	0.000000	-0.065240
y1	0.000115	-1.249999	0.189908	1.249999	0.810092
x2	0.000023	0.000000	-0.448476	1.000000	0.448476
y2	0.000103	-1.249999	0.167946	1.249999	0.832054

図21C

X d 変数項	B 定数項	Xu変数項に対するAu行列項			
		節点番号4		節点番号5	
		x4	y4	x5	y5
x1	-0.000078	0.330017	-0.264013	0.669983	0.264013
y1	0.000183	0.851358	1.318913	-0.851358	-0.318913
x2	0.000016	0.977071	0.018343	0.022929	-0.018343
y2	0.000170	0.850235	1.319811	-0.850235	-0.319812
x3	-0.000052	0.326681	-0.261345	0.673319	0.261345
y3	0.000015	0.051127	0.959099	-0.051127	0.040901

【図21】

図21d

Xd 変数項	B 定数項	Xu変数項に対するAu行列項			
		節点番号5		節点番号6	
		x5	y5	x6	y6
x1	0.000098	0.999999	0.070899	0.000001	0.070898
y1	0.000447	-2.499994	0.477437	2.499993	1.477433
x2	0.000084	0.000001	-0.454227	0.999999	0.454226
y2	0.000434	-2.499994	-0.477678	2.499993	1.477674
x3	0.000071	0.999999	0.070182	0.000001	-0.070182
y3	0.000170	-1.249997	0.180815	1.249997	0.819183
x4	0.000067	0.000001	-0.449301	0.999999	0.449301
y4	0.000157	-1.249997	0.169831	1.249997	0.830167

【図21】

図21c

Xd 変数項	B 定数項	Xu変数項に対するAu行列項			
		節点番号13		節点番号14	
		x13	y13	x14	y14
x1	-0.000817	0.999918	0.070931	0.000082	-0.070916
y1	0.008339	7.499078	-3.103473	7.499073	4.103307
x2	0.000765	0.000075	-0.454262	0.999924	0.454248
y2	0.008326	7.499078	-3.103473	7.499073	4.103307
x3	-0.000790	0.999918	0.070931	0.000082	-0.070917
y3	0.006311	-6.249275	-2.446984	6.249273	3.446851
x3	0.000748	0.000075	-0.454262	0.999924	0.454249
y4	0.006299	-6.249276	-2.446984	6.249273	3.446851
x5	-0.000720	0.999922	0.070933	0.000078	-0.070919
y5	0.004393	-4.999476	1.790494	4.999475	2.790397
x6	0.000687	0.000073	-0.454263	0.999927	0.454250
y6	0.004380	-4.999477	-1.790494	4.999475	2.790398
x7	-0.000606	0.999931	0.070936	0.000070	-0.070923
y7	0.002693	-3.749663	-1.133999	3.749662	2.133935
x8	0.000582	0.000065	-0.454265	0.999934	0.454253
y8	0.002681	-3.749665	-1.134001	3.749664	2.133938
x9	-0.000448	0.999946	0.070934	0.000054	-0.070923
y9	0.001322	-2.499826	-0.477475	2.499826	1.477441
x10	0.000434	0.000052	-0.454216	0.999948	0.454207
y10	0.001310	-2.499829	-0.477596	2.499828	1.477563
x11	-0.000246	0.999969	0.070171	0.000031	-0.070165
y11	0.000389	-1.249945	0.180833	1.249945	0.819156
x12	0.000242	0.000030	0.449290	0.999969	0.449284
y12	0.000376	1.249948	0.169850	1.249948	0.830139

【図21】

図21f

節点22のx d (B) ベクトル : Au行列はゼロ行列			
x 1= -0.002235	y 1= 0.037214	x 2= 0.002146	y 2= 0.037201
x 3= -0.002208	y 3= 0.031688	x 4= 0.002129	y 4= 0.031676
x 5= -0.002138	y 5= 0.026272	x 6= 0.002068	y 6= 0.026259
x 7= -0.002024	y 7= 0.021074	x 8= 0.001963	y 8= 0.021062
x 9= -0.001866	y 9= 0.016205	x 10= 0.001815	y 10= 0.016192
x 11= -0.001664	y 11= 0.011773	x 12= 0.001622	y 12= 0.011761
x 13= -0.001419	y 13= 0.007888	x 14= 0.001386	y 14= 0.007876
x 15= -0.001130	y 15= 0.004659	x 16= 0.001107	y 16= 0.004647
x 17= -0.000797	y 17= 0.002196	x 18= 0.000784	y 18= 0.002183
x 19= -0.000421	y 19= 0.000607	x 20= 0.000416	y 20= 0.000594
x 21= 0.000000	y 21= 0.000000	x 22= 0.000416	y 22= 0.000000

【図21】

図21g

節点番号	各節点での変位値	
	x 軸成分	y 軸成分
1	0.2234827E-02	0.3721555E-01
2	0.2145915E-02	0.3720304E-01
3	0.2208256E-02	0.3168961E-01
4	0.2128724E-02	0.3167710E-01
5	-0.2137925E-02	0.2627308E-01
6	0.2067770E-02	0.2626058E-01
7	-0.2023848E-02	0.2107536E-01
8	0.1963065E-02	0.2106287E-01
9	-0.1866033E-02	0.1620582E-01
10	0.1814621E-02	0.1619332E-01
11	-0.1664487E-02	0.1177377E-01
12	0.1622443E-02	0.1176128E-01
13	-0.1419214E-02	0.7888542E-02
14	0.1386537E-02	0.7876049E-02
15	-0.1130215E-02	0.4659449E-02
16	0.1106906E-02	0.4646957E-02
17	-0.7974942E-03	0.2195800E-02
18	0.7835499E-03	0.2183310E-02
19	-0.4210414E-03	0.6068781E-03
20	0.4164111E-03	0.5945237E-03
21	0.0000000E+00	0.0000000E+00
22	0.0000000E+00	0.0000000E+00

【图 2 2】

图 2 2 a

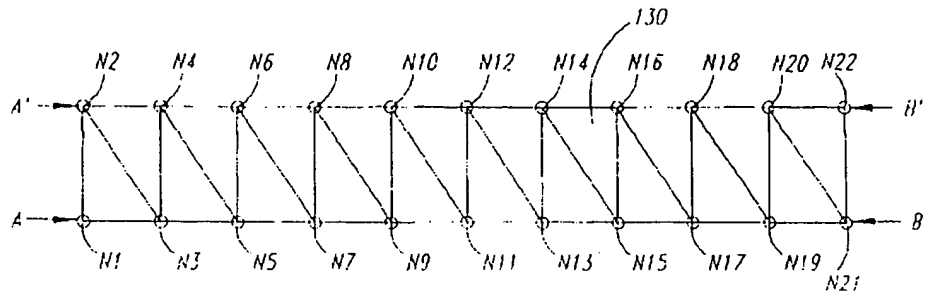
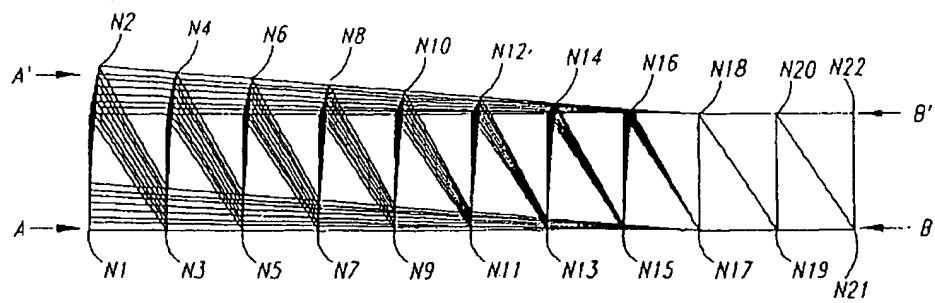


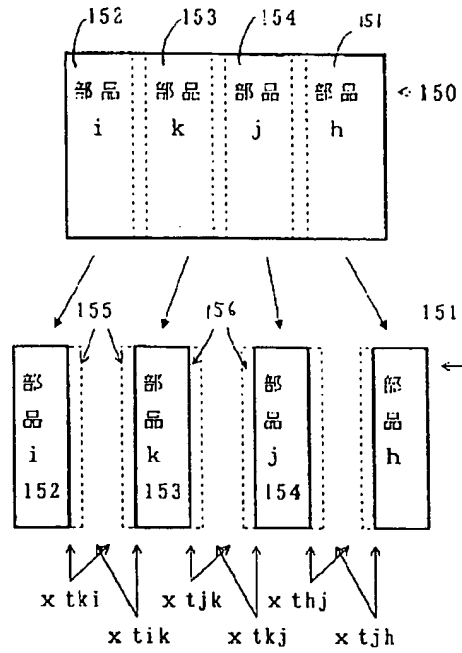
图 2 2 b





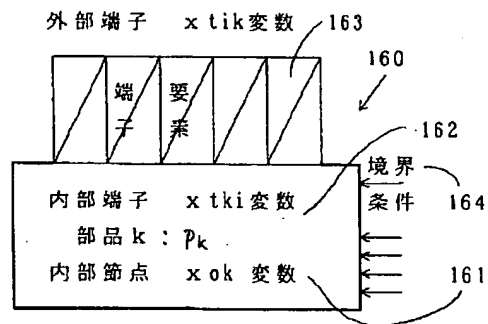
【図23】

図23



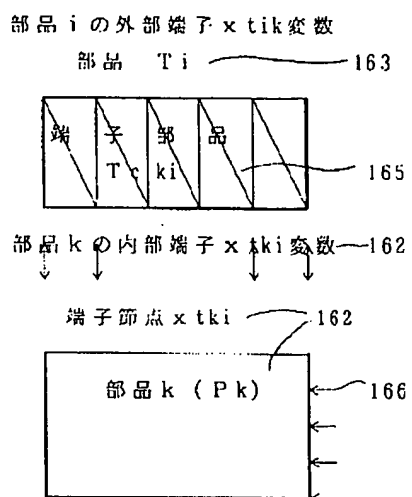
【図24】

図24 a



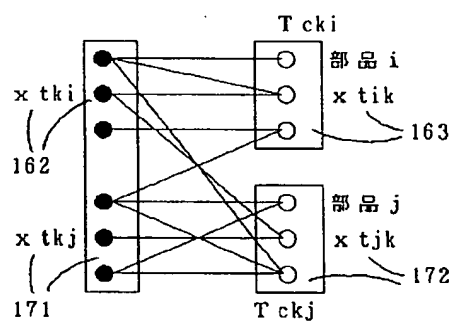
【図24】

図24b



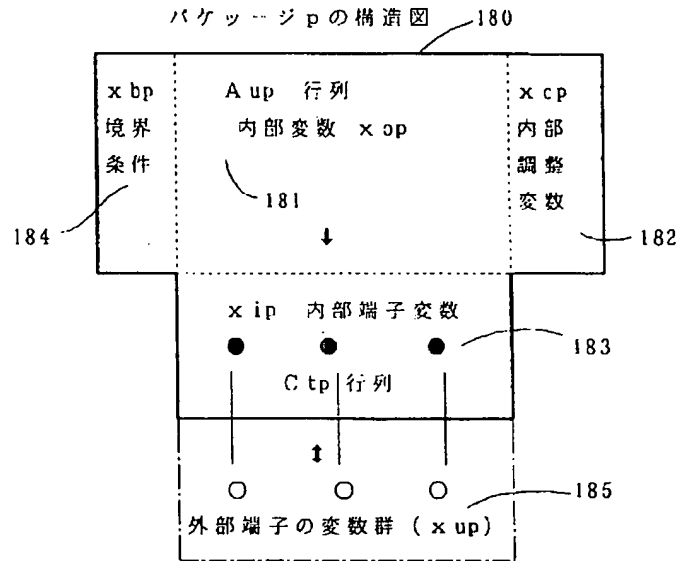
【図25】

図25

部品 k の端子化 ( $T_k$ ) 170

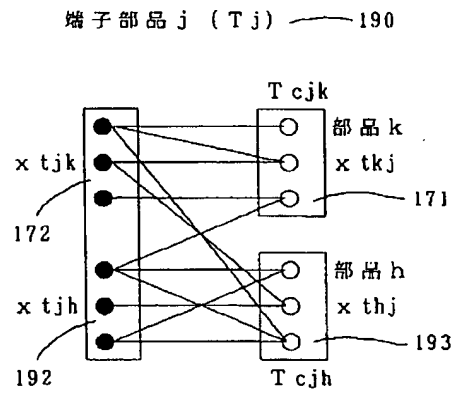
【図26】

図 2 6



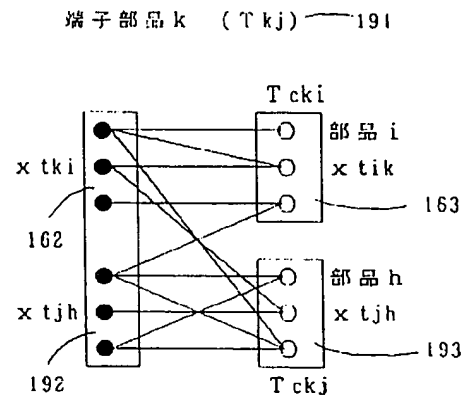
【図27】

図 2 7



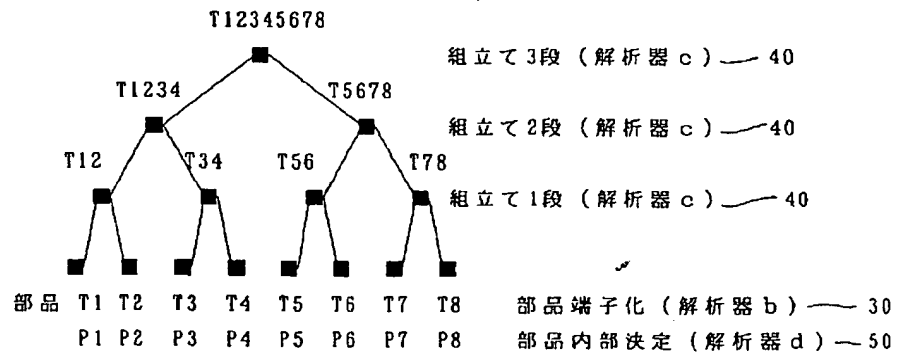
【図28】

図28



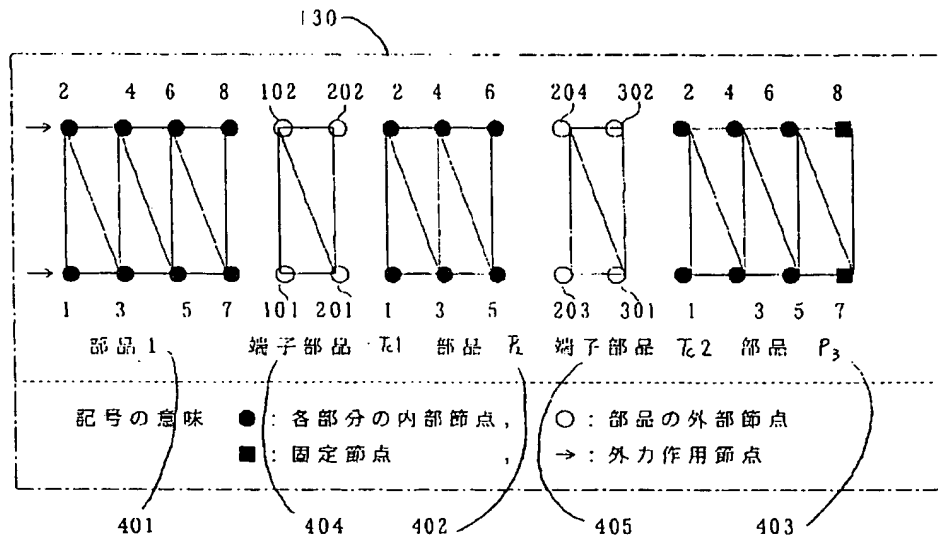
【図29】

図29



【図30】

図 3 0



【図31】

図 3 1

インターフェース端子構成表

部品番号 T <sub>k</sub>	節点番号	
	端子部品 (各部品 での節点番号)	外部端子
部分 1	101(7)    102(8)	201   202
部品 2	201(1)    202(2)	101   102
	203(7)    204(8)	301   302
部品 3	301(1)    302(2)	203   204

【図32】

図32a

X dt1	B t1	部品 T1の Aut1 行列の成分			
		x 201	y 201	x 202	y 202
x 101	-0.000159	0.999991	0.070180	0.000009	-0.070178
y 101	0.000279	-1.249982	0.180819	1.249982	0.819176
x 102	0.000154	0.000009	-0.449299	0.999991	0.449296
y 102	0.000267	-1.249983	0.169836	1.249983	0.830159

図32b

X dt2	B t2	部品 T2の Aut2 行列の成分				
		x 101	y 101	x 102	y 102	x 303
x 201	0.0	0.557742	0.220835	0.204439	-0.300174	0.045561
		-0.017814	0.192258	0.097153		
y 201	0.0	0.630130	0.477404	-0.662059	0.343534	-0.275439
		-0.009561	0.307369	0.188623		
x 202	0.0	0.191658	0.060932	0.557375	0.015924	0.192625
		-0.077054	0.058343	0.000198		
y 202	0.0	0.626963	0.458405	-0.599727	0.349432	-0.337771
		-0.004479	0.310536	0.196640		
x 203	0.0	0.058342	0.000198	0.192625	-0.077054	0.557375
		0.015924	0.191658	0.060932		
y 203	0.0	0.310536	0.196640	-0.337771	-0.004479	-0.599727
		0.349432	0.626963	0.458405		
x 204	0.0	0.192258	0.097153	0.045561	-0.017814	0.204439
		-0.300174	0.557742	0.220835		
y 204	0.0	0.307369	0.188623	-0.275439	-0.009561	-0.662059
		0.343534	0.630130	0.477403		

【図32】

図32c

X dt3	B t3	部品 T3の Aut3 行列の成分			
		x 203	y 203	x 204	y 204
x 301	0.0	0.557742	0.220835	0.204439	-0.300174
y 301	0.0	0.630130	0.477404	-0.662059	0.343534
x 302	0.0	0.191658	0.060932	0.557375	0.015924
y 302	0.0	0.626963	0.458405	-0.599727	0.349432

【図33】

図 3 3

x dp	A up	部品2と部品3のパッケージ TP12のC tpの成分			
		x tp1	y tp1	x tp2	y tp2
		x tp3	y tp3	x tp4	y tp4
x dp1	0.0	0.557742	0.220835	0.204439	-0.300174
		0.045561	-0.017814	0.192258	0.097153
y dp1	0.0	0.630130	0.477404	0.662059	0.343534
		-0.275439	-0.009561	0.307369	0.188623
x dp2	0.0	0.191658	0.060932	0.557375	0.015924
		0.192625	-0.077054	0.058343	0.000198
y dp2	0.0	0.626963	0.458405	0.599727	0.349432
		-0.337771	-0.004479	0.310536	0.196640
x dp3	0.0	0.058342	0.000198	0.192625	-0.077054
		0.557375	0.015924	0.191658	0.060932
y dp3	0.0	0.310536	0.196640	-0.337771	-0.004479
		-0.599727	0.349432	0.626963	0.458405
x dp4	0.0	0.192258	0.097153	0.045561	-0.017814
		0.204439	-0.300174	0.557742	0.220835
y dp4	0.0	0.307369	0.188623	-0.275439	-0.009561
		-0.662059	0.343534	0.630130	0.477403

【図34】

図34 a

X dt12	R 12	部品 T 12の 行列 Aut12の成分			
		x 301	y 301	x 302	y 302
x 101	-0.000895	0.999863	0.070909	0.000135	-0.070888
y 101	0.005268	-4.999135	-1.790352	4.999139	2.790215
x 102	0.000862	0.000126	-0.454240	0.999873	0.454221
y 102	0.005255	-4.999137	-1.790353	4.999141	2.790216
x 201	-0.000737	0.999882	0.070916	0.000117	-0.070898
y 201	0.003185	-3.749457	1.133913	3.749460	2.133826
x 202	0.000714	0.000110	-0.454246	0.999890	0.454229
y 202	0.003173	-3.749460	-1.133916	3.749463	2.133828
x 203	-0.000290	0.999949	0.070164	0.000050	-0.070155
y 203	0.000443	-1.249916	0.180845	1.249917	0.819140
x 204	0.000285	0.000049	-0.449282	0.999951	0.449274
y 204	0.000431	-1.249919	0.169861	1.249920	0.830124

図34 b

X dt12	B t12	端子部品 T 12の 行列 Aut12の成分			
		x 301	y 301	x 302	y 302
x 203	-0.000290	0.999949	0.070164	0.000050	-0.070155
y 203	0.000443	-1.249916	0.180845	1.249917	0.819140
x 204	0.000285	0.000049	-0.449282	0.999951	0.449274
y 204	0.000431	-1.249919	0.169861	1.249920	0.830124

【図35】

図35 a

節 点	T 123の行列 Aut123の成分			
	変数 x		変数 y	
203	x 203	-0.001419	y 203	0.007888
204	x 204	0.001386	y 204	0.007876
301	x 301	-0.001130	y 301	0.004659
302	x 302	0.001107	y 302	0.004647



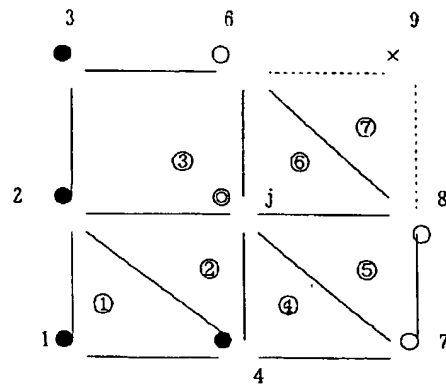
【図35】

図35b

節点	部品T1の行列 Bt1の成分			
	変数 x		変数 y	
101	x 101	-0.002024	y 101	0.021074
102	x 102	0.001963	y 102	0.021062
201	x 201	-0.001866	y 201	0.016205
202	x 202	-0.001815	y 202	0.016193

【図36】

図36



【國際調查報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/IB 94/00167		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 5 G06F15/60 G06F15/324		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC.		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 5 G06F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages Relevant to claim No.	
A	MACHINE DESIGN., vol.64, no.12, June 1992, CLEVELAND US pages 775 - 804 'software for analysis and design' see page 784, column 1 - column 2 see page 784, column 4, line 10 - page 790, column 2, line 3 ---	1,5
A	INTERNATIONAL JOURNAL OF SUPERCOMPUTER APPLICATIONS, vol.2, no.4, 1988, CAMBRIDGE, MA US pages 72 - 83 CHAN 'domain decomposition algorithms and computational fluid dynamics' see page 73, column 2, line 5 - page 76, column 2, line 27 --- -/--	1,5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 August 1994	Date of mailing of the international search report 07.09.94	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.R. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Authorized officer Guingale, A	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/IB 94/00167

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR,A,2 610 429 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 5 August 1988 -----	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/IB 94/00167

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR-A-2610429	05-08-88	AU-A- 1113888	11-08-88
		DE-A- 3803183	18-08-88
		GB-A- 2205183	30-11-88
		JP-A- 63265365	01-11-88
-----			

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M  
C, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG  
, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG), AU, BB, BG, BR, BY, CA,  
CN, CZ, FI, GE, HU, JP, KE, KG, K  
P, KR, KZ, LK, LV, MD, MG, MN, MW  
, NO, NZ, PL, RO, RU, SD, SI, SK,  
TJ, TT, UA, UZ, VN

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**